



**José Ricardo Tavares  
Fajardo**

**Plataforma laboratorial de segurança para ciclistas**





**José Ricardo Tavares  
Fajardo**

**Plataforma laboratorial de segurança para ciclistas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.





## **O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof.<sup>º</sup> Doutor Carlos Alberto Moura Relvas**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof.<sup>ª</sup> Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientadora)

**Prof.<sup>ª</sup> Doutora Anabela Salgueiro Narciso Ribeiro**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Professora Doutora Margarida Coelho e ao Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos pela disponibilidade e a troca de conhecimentos que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Um agradecimento especial aos meus pais por me terem dado oportunidade de obter um curso superior e os ensinamentos que me transmitiram. A minha família que sempre me apoiaram para a conclusão dos meus estudos. Por fim, um muito obrigado aos meus amigos de longa e data e aqueles que foi conhecendo durante o meu percurso académico onde sempre recordarei sempre os bons e maus momentos passados.

Agradeço também à Universidade de Aveiro, com uma louvação especial ao Departamento de Engenharia Mecânica e a todas as pessoas que nele trabalham diariamente pelas condições que me ofereceram ao longo do curso.

Queria agradecer à ÓRBITA por ter cedido a bicicleta à Universidade de Aveiro pois sem ela não era possível a realização deste projeto. Este trabalho insere-se no âmbito do projeto @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014), financiado pelo FEDER através do Programa Operacional “Factores de Competitividade - COMPETE” e por fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia - PTDC/EMS-TRA/0383/2014 e Projeto Estratégico UID-EMS-00481-2013.

A realização desta dissertação é um contributo de cada uma das pessoas aqui citadas onde ficarei sempre grato pelo seu apoio.



**Palavras-chave**

Bicicleta; Segurança; Acidentes; android; Arduino; Sensor de distância.

**Resumo**

Cada vez mais existe uma preocupação do impacto dos transportes no meio ambiente. Isto leva-a que haja uma forte aposta nas políticas de mobilidade sustentável com especial ênfase para o uso da bicicleta, visto que para além de ser um meio de transporte não poluente, ainda permite estimular a prática de exercício físico. Todavia os utentes deste meio de transporte estão vulneráveis, pois, em caso de acidente podem ter lesões graves. Posto isto, é necessário desenvolver soluções que permitam zelar pela segurança dos ciclistas.

Neste seguimento, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma solução que permita ajudar os ciclistas durante as suas deslocações. Esta solução baseia-se na utilização de um sensor que é capaz de medir e avaliar a distância da bicicleta ao restantes veículos, sendo que desta forma é possível alertar o ciclista para a aproximação dos veículos. Este alerta é feito através de uma aplicação em android que monitoriza os valores do sensor de distância. Foi construído um protótipo, para a realização de testes em meio urbano tendo-se escolhido três percursos (Percurso A, B e C), é possível tirar conclusões acerca da solução concebida. Também se realizou um estudo para saber qual era a distância que os condutores deixavam na manobra de ultrapassagem, podendo-se concluir que a maioria das ultrapassagens ocorreram entre 1 e 1.5 metro tendo-se registado em alguns casos em que a distância foi inferior a 1 metro.



**Keywords**

Bicycle; Safety, Accidents, android, Arduino, Sensor of distance.

**Abstract**

There is an increasing concern about the impact of transports on the environment. This leads to a strong investment in sustainable mobility policies with especial emphasis for bicycle usage, since it is not only a non-polluting means of transportation but it also stimulates exercise practice. However, the users of this means of transportation are vulnerable, because they face the possibility of serious injuries in case of accidents. Thus it is necessary to develop solutions that ensure the safety of cyclists.

Given this, the present dissertation aims to develop an equipment that helps bicycle users during their travel. This solution is based in the utilization of a sensor that is capable to measure and evaluate the distance of the bicycle to the remaining vehicles. With this system it is possible to alert the cyclist about vehicles approaching. This alert is done through an android app that monitors the values of the distance sensor. A prototype was built for performing tests in an urban environment, three routes being chosen (Route A, B e C) based on which conclusions about the solution may be established. A study about the passing distance left by drivers was also performed, being concluded that the majority of overtakings occurred between 1 to 1.5 meters, with distance below 1 meter being registered in some cases.





## **Glossário**

*ANSR* Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária.

*GPS* Global Positioning System.

*I2C* Inter-Integrated Circuit.

*INE* Instituto Nacional de Estatística.

*IP* Internet Protocol.

*LED* Light Emitting Diode.

*TCP* Transmission Control Protocol.

*UE* União Europeia.

*USB* Universal Serial Bus.

*WTW* Well To Whell.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	7
1.3	Estrutura da dissertação . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>9</b>
2.1	Investigação - Bicicletas Instrumentadas . . . . .	9
2.2	Soluções comerciais . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Metodologia e Métodos</b>	<b>19</b>
3.1	Instalação da plataforma de sensores . . . . .	20
3.2	Desenvolvimento da aplicação em <i>Android</i> . . . . .	26
3.3	Trabalho experimental . . . . .	30
3.3.1	Bicicleta e protótipo final . . . . .	30
3.3.2	Escolha dos percursos . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>39</b>
4.1	Resultados dos testes preliminares . . . . .	39
4.2	Resultados dos percursos em estudo . . . . .	41
4.3	Estudo do erro dos sensores . . . . .	42
4.4	Avaliação da distância de ultrapassagem . . . . .	44
4.4.1	Estudo do desempenho . . . . .	50
4.5	Conflitos detetados durante os testes experimentais . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Conclusão e sugestão de trabalhos futuros</b>	<b>53</b>
5.1	Conclusões . . . . .	53
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	55
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Esquema elétrico</b>	<b>63</b>
<b>B</b>	<b>Mapa da Cidade-Percursos</b>	<b>65</b>



# Lista de Figuras

1.1	Utilização da Bicicleta na União Europeia em 2014 . . . . .	2
1.2	Transportes mais utilizados num dia típico na Europa . . . . .	3
1.3	Realização de viagens pendulares em Portugal 2011 . . . . .	3
1.4	Venda de bicicletas na Europa entre 2000-2014 ( x 1.000 unidades) . . . . .	4
1.5	Média do número de óbitos de peões e ciclistas entre 2011-2013 . . . . .	5
1.6	Número de mortes e percentagem de mortes nas estradas da Europa entre 2004-2013 . . . . .	5
2.1	Bicicleta instrumentada . . . . .	10
2.2	Bicicleta instrumentada . . . . .	11
2.3	Bicicleta instrumentada . . . . .	12
2.4	Bicicleta instrumentada . . . . .	13
2.5	Bicicleta instrumentada . . . . .	14
2.6	Processo de atualização dos dados . . . . .	15
2.7	"Pedestrian and Cyclist Detection with full auto brake" . . . . .	16
2.8	Sistema Lanesight . . . . .	17
2.9	Sistema-Varia™ Rearview Radar . . . . .	18
2.10	Sistema-Byxee . . . . .	18
3.1	Calendarização das tarefas . . . . .	20
3.2	Lista de componentes . . . . .	20
3.3	Protótipo do estudo . . . . .	21
3.4	Módulo MPU-6050 . . . . .	22
3.5	Módulo Bluetooth HC-05 . . . . .	22
3.6	<i>Arduino-UNO</i> . . . . .	23
3.7	Módulo <i>GPS</i> -NEO M8N . . . . .	23
3.8	Sensor de distância HC-SR04 . . . . .	24
3.9	Sensor distância-MB1200 XL-MaxSonar®EZ0™ . . . . .	25
3.10	Sistema de alimentação . . . . .	25
3.11	Câmara de filmar-Rollei Actioncam 425 . . . . .	25
3.12	Fluxograma de interligação de todos os componentes . . . . .	26
3.13	Quota das vendas de mercado dos vários sistemas operativos . . . . .	27
3.14	Fluxograma do funcionamento da aplicação desenvolvida . . . . .	28
3.15	Janelas da aplicação . . . . .	29
3.16	Bicicleta e o protótipo . . . . .	30
3.17	Esquema da solução . . . . .	31
3.18	Percurso do pré-estudo-TP 1 . . . . .	32

3.19	Percurso do pré-estudo-TP 2 . . . . .	33
3.20	Percurso A-Partida (a) e Chegada (b) . . . . .	33
3.21	Percurso A-(a) Mapa; (b) Fluxograma . . . . .	34
3.22	Percurso B-Partida (a) e Chegada (b) . . . . .	35
3.23	Percurso B-(a) Mapa; (b) Fluxograma . . . . .	36
3.24	Percurso C-(a) Mapa; (b) Fluxograma . . . . .	37
4.1	Estudo do ângulo de rotação do sensor . . . . .	40
4.2	Estudo do erro dos sensores . . . . .	43
4.3	Erro dos sensores . . . . .	44
4.4	Valor da distância em função do tempo Ensaio 2-Percurso A . . . . .	46
4.5	Valor da distância em função do tempo Ensaio 4-Percurso B . . . . .	48
4.6	Valor da distância em função do tempo Ensaio 6-Percurso C . . . . .	50
4.7	Estacionamento na ciclofaixa - Avenida Santa Joana-Percurso A . . . . .	51
4.8	Estacionamento Avenida Artur Ravara-Percurso A . . . . .	51
4.9	Estacionamento Avenida 25 de Abril-Percurso B . . . . .	52
4.10	Estacionamento junto da Escola Dr. Mário Sacramento-Percurso C . . . . .	52
4.11	Estacionamento na Rua Manuel J.Braga Alves-Percurso C . . . . .	52

# Lista de Tabelas

3.1	Lista de peças . . . . .	21
3.2	Volume de tráfego . . . . .	38
3.3	Características dos percursos . . . . .	38
4.1	Número de veículos detetados no ensaio entre 0°-90° . . . . .	40
4.2	Número de veículos detetados no ensaio entre 20°-65° . . . . .	41
4.3	Resultados do nível de deteção nos 3 percursos . . . . .	42
4.4	Estudo do erro . . . . .	43
4.5	Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso A . . . . .	45
4.6	Tabela resumo da distância do Ensaio 2-Percurso A . . . . .	46
4.7	Resultados da ultrapassagem no Percurso B . . . . .	47
4.8	Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso B . . . . .	47
4.9	Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso C . . . . .	49
4.10	Resumo da distância de ultrapassagem Ensaio 6-Percurso C . . . . .	49
4.11	Estudo do erro nos percursos em estudo . . . . .	50





# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento

Nos dias que correm não se pode pensar no desenvolvimento urbano de uma cidade se não existir infraestruturas de suporte, porque quase 85% do produto interno bruto da União Europeia tem origem nessas zonas [1]. O crescimento de uma cidade é um processo natural. No entanto, é responsabilidade das entidades competentes o desenvolvimento de soluções associadas à mobilidade urbana, que incentivem a utilização de transportes coletivos ou então ao uso de modos suaves, pois uma expansão das cidades leva a um maior uso do transporte individual uma vez que os locais de habitação, lazer e de trabalho estão mais dispersos.

A escolha do meio de transporte é uma opção pessoal; porém a utilização de transportes mais amigos do ambiente leva a uma melhoria para toda a sociedade.

As políticas de mobilidade têm como alvo a redução do congestionamento no centro das cidades e a diminuição da poluição entre outros problemas diretos e indiretos que interferem na vida das populações.

Quando se fala do incentivo à utilização da bicicleta nas políticas de mobilidade sustentável deve-se citar, a título de exemplo, as cidades de Amesterdão, Copenhaga, Graz e Estrasburgo [2] [3]. As políticas de mobilidade têm como objetivo a diminuição da poluição e dos recursos fósseis, pois nos dias que correm ainda há uma grande dependência em relação a eles, podendo vir a comprometer as gerações futuras. Um exemplo das políticas de mobilidade é incentivo à utilização dos modos suaves (andar a pé e de bicicleta). Cada vez mais as pessoas usam a bicicleta como meio de transporte para curtas distâncias em vez do automóvel. Evitando o sedentarismo, melhora o ambiente, a saúde das pessoas e promove-se a economia do país (atendendo que as pessoas vão comparar bicicletas produzidas pelo o próprio país).

A bicicleta tem tido cada vez mais utilizadores, graças ao aumento da rede ciclável. As autarquias têm vindo a apostar cada vez mais nestas soluções e também no uso dos sistemas de partilhas de bicicletas. Antigamente, as bicicletas eram utilizadas unicamente para lazer e desporto.

Hoje em dia, o uso da bicicleta no quotidiano das populações faz com que sejam tomadas medidas em função dela, promovendo a interligação entre os vários setores de transportes, zona de turismo e ainda o planeamento urbano. A utilização da bicicleta como meio de transporte nas suas viagens diárias varia entre os diversos Estados Membros: na Europa Central e Oriental varia entre 1 a 5% das viagens, enquanto que na Europa

Ocidental ronda 5 a 10%, destacando-se a Holanda com 27% e a Dinamarca com 18%[4]. Em muitos países da UE-28, ainda não se conseguiu incentivar à utilização da bicicleta. Atendemos o exemplo de Portugal e de Malta observando a Figura 1.1 [5].

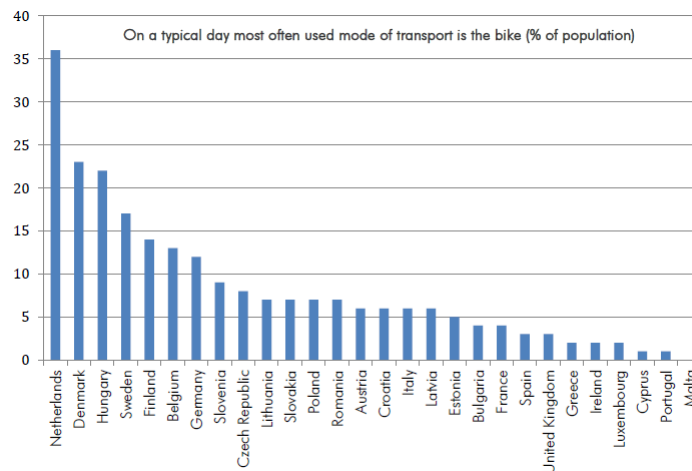


Figura 1.1: Utilização da Bicicleta na União Europeia em 2014 [5]

Realizando uma análise verifica-se que ainda existe uma grande parte da população que não utiliza a bicicleta para realizar as suas viagens do dia-a-dia. No relatório *QUALITY OF TRANSPORT*, publicado em dezembro de 2014, a Comissão Europeia pergunta qual o transporte que utilizaria num dia típico. O automóvel ocupa o primeiro lugar com 54% das escolhas, enquanto que os modos suaves ocupam apenas 22% das intenções de escolhas das pessoas (ver Figura 1.2). Na Holanda as pessoas encontram-se divididas quanto à utilização do automóvel e da bicicleta, com 45% e 36% respetivamente, com uma variação apenas de 9%. Outro país que apenas existe uma diferença de 11% entre o automóvel e a bicicleta é a Hungria (33% e 22% pela mesma ordem), ocupando o terceiro lugar na utilização da bicicleta no dia-a-dia, logo a seguir a Dinamarca com 23%. Chipre e Portugal foram os estados membros onde se verificou o menor número de utilizadores de bicicleta num dia típico, com apenas 1% [6].

As principais razões para que não ocorra ainda tanta utilização da bicicleta, prendem-se a três grandes causas: a primeira é devido ao número ainda reduzido de ciclovias e o receio de partilhar a via com o veículo motorizado, a segunda prende-se com o volume de tráfego automóvel que existe nas vias rodoviárias, por último, o risco de furto [2].

Vários estudos foram feitos, tendo como objetivo saber qual o modo suave com maior potencialidade, conclui-se que andar a pé é bastante mais eficiente nas deslocações até 1 km, enquanto que a bicicleta tem um melhor desempenho nas deslocações entre 4 km e 5 km, superando mesmo o transporte individual pois existe muitas variáveis que se tem de ter em conta para além do tempo para a realização da viagem, como por exemplo a altura do dia que se realiza a viagem e as condições climatéricas, entre outras [4] [7].

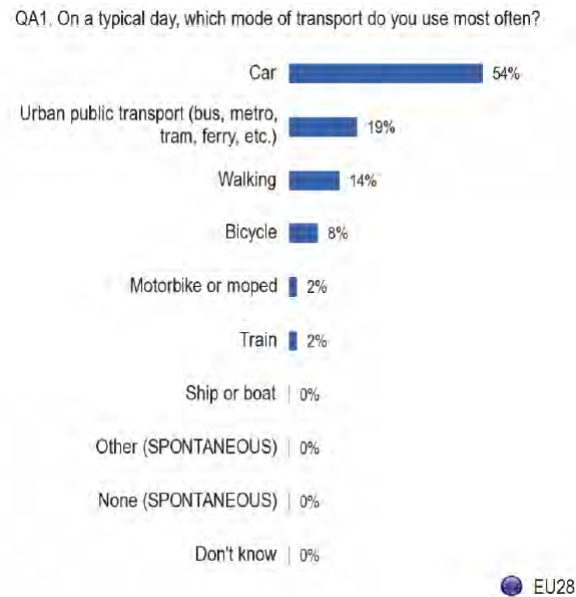


Figura 1.2: Transportes mais utilizados num dia típico na Europa [6]

O recenseamento de 2011, realizado pelo *INE* revela que 61.6% das viagens pendulares foram feitas de automóvel ligeiro, os transportes coletivos (nos mais diversos modos) com 20%, o modo pedonal com 16.4%, os motociclos com 1.2% e a bicicleta com 0.5% e 0.3% para os restantes como se pode ver na Figura 1.3. Entre 2001 e 2011 verificou-se que a escolha do automóvel ligeiro para a realização das viagens diárias (casa-trabalho ou casa-escola) aumentou 16% [8] [9].

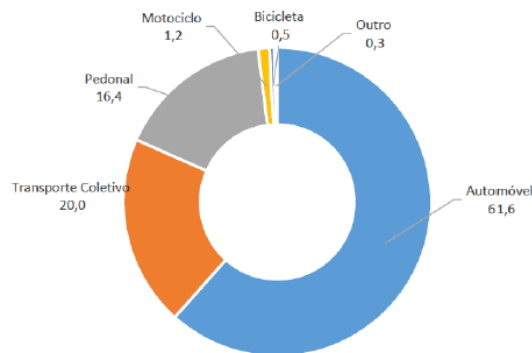


Figura 1.3: Realização de viagens pendulares em Portugal 2011 [9]

É do conhecimento geral que só muito recentemente se começou a promover a utilização da bicicleta em Portugal no meio urbano. Uma prova disto foi o reforço e a construção das ciclovias onde os velocípedes podem realizar as suas viagens pendulares (casa-trabalho e casa-escola) com maior segurança, pois os únicos percursos existentes eram destinados unicamente ao desporto. A construção de ciclovias, constitui uma medida que as autarquias realizaram para atrair e incentivar o uso da bicicleta nas deslocações diárias da sua população.

No documento mencionado anterior é possível verificar que 54.6% das pessoas realizou viagens com uma duração até 15 min, tendo havido um aumento em relação ao ano de 2001 [9]. Como 50% das viagens de carro são menores que 5 km e 30% delas são inferiores a 3 km pode-se concluir que existe uma enorme potencialidade para o uso da bicicleta [10]. Perante este facto torna-se evidente a potencialidade do modo ciclável nas deslocações quotidianas. Para que isto aconteça é necessário incentivar ou reforçar políticas de mobilidade, sendo necessário haver uma maior interligação entre as empresas, aos serviços públicos, às escolas, ao comércio, às autoridades de segurança e as autarquias.

Ao promover o uso da bicicleta, está-se igualmente a incentivar o fabrico da mesma, que tem vindo a ter cada vez mais importância na indústria Portuguesa. A Figura 1.4 revela que a venda de bicicletas tem tido várias flutuações devido as diferentes conjunturas económicas que têm ocorrido na Europa [11]. A partir do ano de 2012 até 2014, tem-se verificado um aumento do número de vendas de bicicletas da União Europeia. Em Portugal, a indústria das bicicletas tem crescido a uma média de 10% ao ano entre 2011 e 2014. Entre estes períodos, o valor das exportações foi de 226 milhões em 2011, 241 em milhões em 2012, 247 em milhões em 2013 e 314 milhões em 2014 (com mais de 1.6 milhões de unidades produzidas chegando à terceira posição na produção de bicicletas da UE) [12]. A principal razão para o aumento deste setor ao longo destes anos reside no maior poder de oferta das empresas portuguesas, que dispõem de soluções mais atrativas para os diversos mercados.

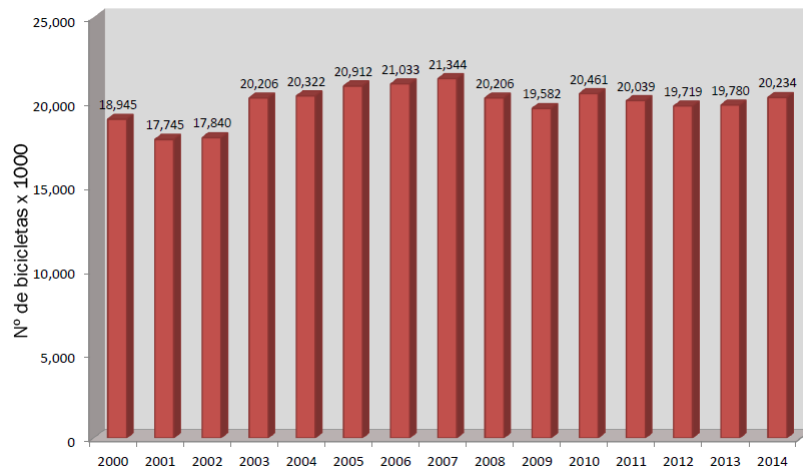


Figura 1.4: Venda de bicicletas na Europa entre 2000-2014 ( x 1.000 unidades) [11]

A segurança dos ciclistas é um tema que merece algum cuidado. Um estudo realizado pelo *ERSC* (*European Road Safety Council*), revela que, entre 2001 e 2013, o número de óbitos de ciclistas e de peões foi de 138.400. O ano de 2013 registou 7.600 mortes, sendo responsável por 29% (21% peões e 8% bicicletas) de todas as mortes nas estradas da UE.

Na Figura 1.5, verifica-se que existe uma grande variação entre os vários estados da União Europeia; países como Lituânia, Roménia, Letónia e Polónia 40% das mortes nas estradas são de utentes vulneráveis (peões e ciclistas); em sentido inverso a Finlândia, Noruega, França e Luxemburgo têm o valor mais baixo aproximadamente 20% [13]. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Na figura 1.5 foi excluído a Bélgica por dados insuficientes.

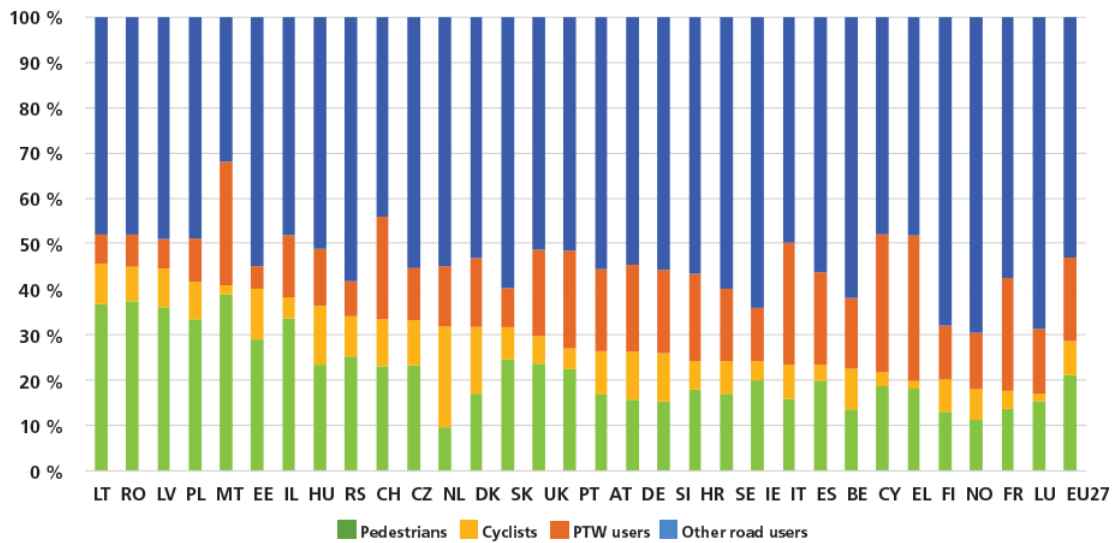


Figura 1.5: Média do número de óbitos de peões e ciclistas entre 2011-2013 [13]

As mortes de utilizadores de bicicletas na *UE* registou um aumento de 6% para 8% entre o período 2004-2013.

Uma razão possível para o aumento do número de mortes, pode ser justificado pela crise económica/financeira que se encontrava na Europa. As pessoas abdicam de utilizar o transporte individual para realizar as suas viagens pendulares optando pela utilização da bicicleta e/ou transportes públicos. Como a bicicleta é um meio de transporte de fácil utilização, baixo custo e ainda é possível fazer atividade física sendo assim é uma alternativa para muitas pessoas nas suas deslocações do dia-a-dia. A conclusão é que, de um modo geral, o número de mortes de ciclistas tem vindo a diminuir de ano para ano (ver Figura 1.6) tendo registado um decréscimo de 32% entre 2004 e 2013 [14].

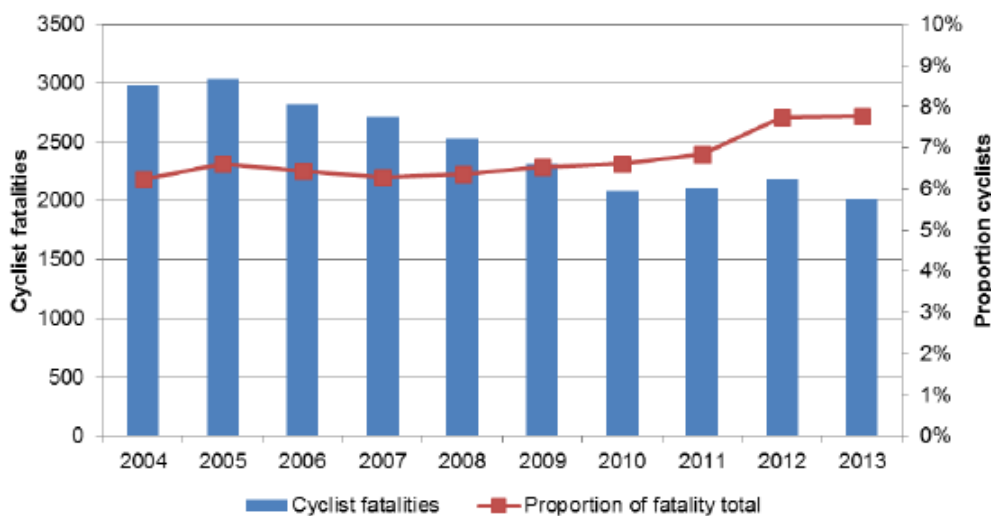


Figura 1.6: Número de mortes e percentagem de mortes nas estradas da Europa entre 2004-2013 [14]

Espanha, Grécia têm as mais baixas taxa de mortalidade, com menos de dois ciclistas por milhão de habitantes, enquanto que a Sérvia e a Lituânia têm oito ou mais mortes de ciclistas por milhão de habitantes, dado que a média na *UE* entre 2011-2013 é 4.2 mortos por milhão de habitantes (habitantes em 2013). A faixa etária mais vulnerável são os idosos com mais de 65 anos de idade, onde a Holanda apresenta o valor mais alto dos vários Estados Membros, cerca de 30 mortes por milhão da população idosa enquanto o valor médio de 10 mortes por milhão da população idosa da *UE*. A altura do ano onde se verifica mais óbitos é nos meses de Julho, Agosto e Setembro (onde regista 13%) e menores em Janeiro, Fevereiro e Março (onde regista 4%).

As alturas do dia onde há mais mortes é entre as 08:00 h-12:00 h e entre 14:00 h-18:00 h. Pode-se concluir que, em regra geral, 55% dos acidentes fatais ocorrem dentro das áreas urbanas. O país da *UE* que apresenta uma maior taxa de mortalidade dentro de áreas urbanas é a Croácia com 83% e fora das áreas urbanas é a Letónia aproximadamente 80% [13] [14]. Os utilizadores de bicicleta merecem a devida atenção e respeito pelos outros utentes das vias, pois são vulneráveis sendo então necessário perceber e estudar as suas características e todas as suas variáveis.

A utilização de um capacete convencional reduz em 88% o risco de lesão e pelo menos 75% no caso de uma lesão grave [15]. Um problema bem estudado, pode fornecer uma boa oportunidade para melhorar a segurança de todos.

No relatório da *ANSR* de 2015, é possível verificar que entre 2014 e 2015 o número de colisões aumentou para 1477 mais 44 face a 2014 [16]. Sendo assim, é necessário ter infraestruturas e meios de proteção podendo ser eles eletrónicos e proceder à criação de legislação específica com vista à redução da sinistralidade ao mesmo tempo que se apela para o uso das bicicletas. As infraestruturas podem contribuir fortemente para a segurança através da qualidade do pavimento e a clareza dos cruzamentos reduzindo assim o risco de conflitos.

As vantagens do uso da bicicleta são inúmeras e das mais diversas naturezas ([2] [3] [7]):

- Económica, com a diminuição dos encargos com o automóvel, redução das horas perdidas no congestionamentos e ainda redução das despesas médicas graças à prática do exercício físico.
- Política com a redução da dependência energética e poupança de recursos não renováveis.
- Social, acessível a todas classes sociais e acessível a todas idades.
- Ecológica/Ambiental, através da redução do ruído e da poluição.
- Saúde, com a diminuição do sedentarismo (contribui para uma melhor qualidade de vida e bem estar das pessoas).

Perante as inúmeras vantagens que a bicicleta oferece ainda existem alguns fatores que têm de ser tidos em conta para a sua utilização, a título de exemplo [7]:

- Padrão de ocupação territorial: o crescimento das cidades levou a que as pessoas se deslocassem para a periferia, levando a um afastamento dos locais de trabalho, lazer, comércio e serviços, contribuindo assim para a despovoação das zonas centrais da cidade favorecendo o uso do transporte individual.

- Segurança: o risco de insegurança é um dos fatores que condiciona mais o uso da bicicleta.
- Intermodalidade: ainda existe uma fraca utilização dos transportes públicos em complemento e da bicicleta, sendo a principal razão a não existência de regras claras para o uso da bicicleta e a inexistência de um sistema de partilha de bicicletas que iria facilitar *do the right mix*.
- Fatores naturais: a existência de clima adverso (temperaturas, vento, neve) podem influenciar a utilização da bicicleta. O relevo do país também pode ser preponderante, pois a existência de grandes declives faz com que não se torne apelativa a utilização da bicicleta.
- Barreiras psicológicas: como o comportamento das pessoas é naturalmente influenciado pelas atitudes dos outros, a utilização dos modos suaves, em muitos casos é associada a um baixo estatuto económico.
- Acesso ao uso da bicicleta: o acesso a este meio de transporte é também um facto que se deve ter em conta, pois é um meio necessário para o utilização da bicicleta no quotidiano das pessoas.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de uma plataforma de sensores e a sua posterior montagem numa bicicleta, de modo que funcione como uma plataforma laboratorial "on-road" e deste modo possa prevenir acidentes entre velocípedes e os outros utilizadores da via.

O desenvolvimento destes sensores tem como objetivo simplificar e melhorar a relação entre os veículos motorizados e os velocípedes. Assim sendo, os sensores irão medir a distância entre a bicicleta e o veículo que se encontra na retaguarda e na lateral. Também se pretende continuar o desenvolvimento de uma aplicação de um telemóvel fornecendo dados ao ciclista em tempo real da informação, que lhe permite aferir a que distância a que os outros veículos se encontram.

No contexto desta dissertação vão ser montados sensores que permitem indicar a:

- Distância entre o velocípede e os outros utilizadores da mesma via;
- Localização geográfica;
- Velocidade linear e
- Aceleração e a inclinação.

Este trabalho é desenvolvido no âmbito da Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da Universidade de Aveiro, tendo sido iniciado no ano passado pela estudante do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica Joana Guimarães. A presente dissertação pretende avaliar unicamente a fiabilidade do sensor de distância.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado encontra-se organizada em 5 grandes capítulos e vários subcapítulos para que o leitor possa facilmente perceber de forma clara e precisa toda a informação. No capítulo 1 é apresentada a motivação e os objetivos desta dissertação que se pretende atingir. Foi realizada uma breve introdução sobre o papel das bicicletas nas viagens quotidianas das populações da União Europeia. Foi também realizado um estudo sobre os hábitos da população portuguesa, com o intuito de saber quais os modos de transportes que são mais frequentes nas suas deslocações. Realizou-se uma pesquisa para saber a importância da indústria da bicicletas para Portugal e ainda um estudo sobre a taxa de mortalidade de ciclistas na União Europeia e no Território Nacional. Efetuou-se ainda uma análise das vantagens e entraves do uso das bicicletas.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica onde se deu ênfase aos diversos sistemas que já existem. A realização deste estudo é deveras importante pois permite adquirir competências sobre esta temática servindo para consolidar e fortificar/cimentar os conhecimentos.

No capítulo de metodologia e métodos (capítulo 3), é apresentado toda a evolução cronológica do estudo, permitindo à pessoa que lê o documento inteirar-se sobre as opções realizadas.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos no estudo e a sua devida discussão, permitindo discutir a fiabilidade do sistema implantado.

Para finalizar, no capítulo 5 são apresentadas todas as conclusões alcançadas e ainda são feitas sugestões sobre trabalho futuro.



## Capítulo 2

# Estado da Arte

As bicicletas têm sofrido evoluções ao nível estrutural com a introdução constante de novos materiais, bem como nas suas áreas de aplicação. Sendo assim, é necessário realizar um estudo de todas as temáticas para perceber quais as principais soluções desenvolvidas e as suas áreas de aplicação.

Neste capítulo realizou-se uma breve síntese dos trabalhos que já foram desenvolvidos utilizando bicicletas como laboratório e ainda soluções comerciais, com a descrição geral do seu funcionamento.

### 2.1 Investigação - Bicicletas Instrumentadas

A bicicleta tem tido das mais diversas aplicações; um exemplo disso é a sua utilização como plataforma laboratorial "on-road" permitindo estudar certos parâmetros citando-se a título de exemplo a velocidade, aceleração, relevo do percurso e a distância de ultrapassagem.

As bicicletas instrumentadas, têm os mais diversos componentes; citam-se a título de exemplo, a utilização de câmaras de filmar, sensor *GPS*, acelerómetro, entre outros. As bicicletas instrumentadas podem ser uma mais valia para a mobilidade urbana e para a segurança, uma vez que os utilizadores de bicicleta deparam-se todos os dias com os mais diversos problemas, desde o tráfego automóvel, condições climatéricas, até o estado das vias que depois acabam por afetar o comportamento dos velocípedes.

Chuang et al. realizaram um estudo tendo como objetivo analisar quais eram os parâmetros que influenciavam a distância lateral quando se realizava uma ultrapassagem, estudando a posição do ciclista (medição da distância lateral à passagem de veículos), o veículo (variação do ângulo da roda da bicicleta) [17]. Ainda foram analisados outros fatores que podem interferir como o tipo de veículo, condições do piso, entre outros. Foram recolhidos dados de 34 participantes (16 estudantes do sexo masculino e 18 do sexo feminino), as pessoas escolhidas eram utilizadores frequentes de bicicleta. O estudo foi dividido em duas partes: na primeira parte foram abordados os fatores que afetam a distância quando um veículo se aproxima; na segunda parte considerou-se o comportamento dos ciclistas, como a estabilidade, após a realização da ultrapassagem. O percurso escolhido localizou-se numa área urbana, com o limite de velocidade de 50 km/h e com diferentes relevos.

Na Figura 2.1 é apresentada a bicicleta e os seus componentes, onde se destaca a uti-

lização de sensores de distância (um para o lado direito e outro para lado esquerdo), acelerômetro, 8 sensores de proximidade, uma resistência variável e ainda 5 câmaras de filmar.

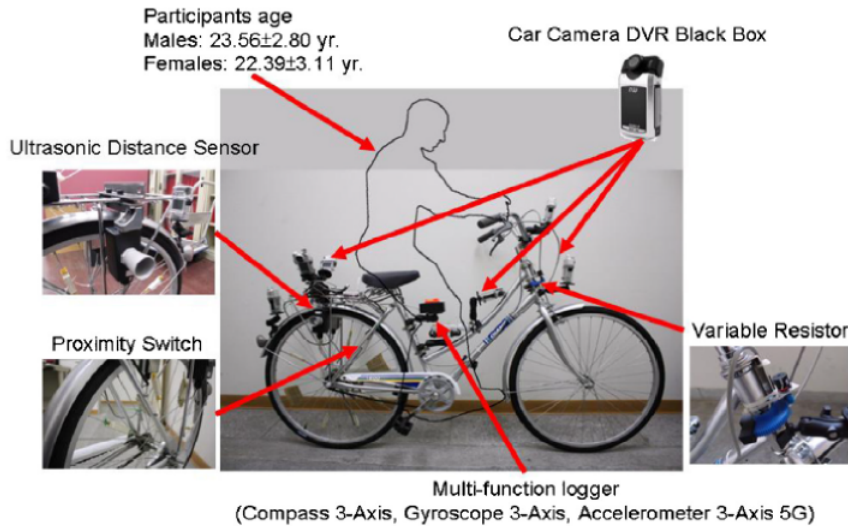


Figura 2.1: Bicicleta instrumentada [17]

Os resultados deste estudo revelam que a distância de ultrapassagem é menor quando as condições do pavimento estão degradadas quando comparando com o piso de boa qualidade. As motos e os autocarros foram aqueles que forneceram uma menor distância para realizar a ultrapassagem quando comparados com os restantes veículos. Os autocarros foram aqueles que provocaram uma maior variação do ângulo da roda devido às suas dimensões em comparação com os outros veículos. Quando se analisa o ciclista a distância de ultrapassagem são menores para ciclistas do sexo masculino do que para o sexo feminino. Os dados revelaram também que algumas vezes as motos passaram a uma distância de 30 cm. A distância lateral média rondou um metro e meio e cerca de 16% das ultrapassagens a distância foi inferior a 1 metro. Os autores do estudo revelam ainda que há muitos fatores que influenciam a distância de ultrapassagem, como por exemplo a velocidade do veículo. O uso de câmaras é de enorme importância para o estudo deste tipo de problemas [17].

No estudo realizado por Llorca et al, analisou-se o valor de um metro e meio de distância lateral era adequado e se estava a ser cumprido. Estudaram também qual a influência da velocidade dos veículos [18]. Foram utilizadas três câmaras para gravar toda a manobra de ultrapassagem e um *GPS* para registar a posição da bicicleta. Os dados dos equipamentos mencionados anteriormente foram gravados em um *Racelogic VBOX*. A bicicleta também dispõe de 4 lasers sendo dois deles para fornecer a velocidade do veículo que realiza a ultrapassagem e os outros para medir a distância de ultrapassagem. Para a realização deste estudo foram utilizadas duas bicicletas: uma de montanha e outra de ciclismo (ver Figura 2.2) conduzidas por um profissional. A recolha de dados foi feita durante duas semanas, com boas condições meteorológicas e com pavimento seco. Os segmentos de estudo tinham diferentes relevos e cobriam diferentes volumes de tráfego e as ciclovias tinham diferentes larguras. Para realizar a análise de dados

foram escolhidos 50% das manobras de ultrapassagem de cada uma das bicicletas. No fim de cada recolha de dados foi realizado um inquérito ao ciclista para identificar quais as principais situações críticas para depois realizar uma classificação do risco.



Figura 2.2: Bicicleta instrumentada [18]

A avaliação da percepção do risco e da distância lateral não foi concordante, pois em alguns locais onde se registou maiores distâncias de ultrapassagem foram associados níveis de risco mais elevados. O maior risco foi sentido na altura em que o ciclista foi ultrapassado por veículos pesados e quando as velocidades de ultrapassagem eram elevadas. Segundo os autores do estudo a distância de um metro e meio não é adequada porque não tem em conta a velocidade do veículo e as dimensões dos veículos pesados. Os níveis mais baixos de avaliação de risco registaram-se quando os carros se deslocavam a 50 km/h onde a distância de 1.5 metro era suficiente; no entanto se o veículo se deslocasse a 120 km/h, a distância que fornecia mais segurança era 2.75 metros. Este estudo demonstra que a percepção de risco não é só afetada pela distância lateral mas também pela velocidade e pela presença de veículos pesados [18].

Parkin, Meyers estudaram qual o efeito da velocidade quando se realiza uma ultrapassagem. Os veículos ao passar pelos velocípedes exercem uma força lateral devido ao deslocamento do ar provocando instabilidade. Esta análise estudou quatro categorias de veículos - automóvel, carrinha, autocarro e motociclo. As principais conclusões que se retiraram é que os veículos não fornecem uma distância de segurança quando realizam ultrapassagem e a categoria do mesmo tem muita importância [19].

Walker estudou qual é o efeito da aparência física dos ciclistas no comportamento dos condutores. Avaliou também qual a influência do capacete e se havia alguma diferença ao ser um condutor do sexo masculino ou feminino [20]. O autor teve dois objetivos: em primeiro lugar tentou quantificar o efeito específico do posicionamento da bicicleta, o uso do capacete e a influência do tipo de veículo. O segundo objetivo foi a realização de uma pergunta que pretendia saber se os condutores têm sensibilidade para a vulnerabilidade dos outros utentes da via. Os resultados mostram quanto mais os ciclistas circulavam junto à berma da estrada menos espaço era dado pelos condutores para realizar a ultrapassagem, pois a deslocação na berma é uma situação a evitar devido à existência de grelhas entre outros fatores, sendo aconselhado pelos autores do estudo

andar a uma distância da berma de 0.5-0.75 metro. Foi possível verificar que quando o utilizador usava o capacete a distância de ultrapassagem era menor. Pode-se concluir também que, em média, os autocarros e os camiões foram os veículos que passaram mais perto. A principal razão para este acontecimento são as suas dimensões, pois em média demoram cerca de 4 segundos enquanto que o carro demora cerca de 0.5-1 segundos. Na questão da sensibilidade, concluiu-se que na presença de utilizadores vulneráveis os condutores apresentam mais atenção. Quando se realiza uma ultrapassagem de um ciclista, os condutores não podem realizar uma avaliação do comportamento do mesmo tendo em conta apenas uma breve avaliação visual [20].

Chapman e Noyce realizaram um estudo semelhante ao do Walker onde utilizaram sensores ultrassónicos, câmara de filmar e um Hewlett-Packard Mini 2140 (mini-computador) para armazenar os dados [21]. A diferença entre os dois estudos foi o local de recolha de dados. Enquanto que neste estudo o ambiente em análise foram as estradas rurais de Dane County (em South Central Wisconsin), no de Walker foram estradas fora de Londres. Na Figura 2.3, pode-se visualizar a bicicleta do estudo e os seus componentes, desde as duas câmaras de filmar, sensor de distância assim como o elemento de proteção para o computador (encontram-se dentro do círculo a vermelho).



Figura 2.3: Bicicleta instrumentada [21]

Foram recolhidas mais de 1300 manobras de ultrapassagem; no entanto só 1151 foram validadas. O maior número de ultrapassagens ocorreu em locais indicados para ciclistas - cerca de 68.5% - e as restantes (362) manobras foram feitas em estradas sem qualquer tipo de marcação. Para cada caso foram analisados um grande número de variáveis, como por exemplo, que tipo de veículo se tratava, a sua velocidade, condições da via e da sua marcação, a existência de pista para ciclistas, distância de ultrapassagem e condições do tempo, entre outras. Os automóveis ocupam 46.3% das interações com os ciclistas, os jipes 26.1%, 13.5% para as carrinhas de carga, 8.5% para os mono-volumes e os camiões e as motos ocupam a restante percentagem. Na análise de resultados, os autores verificaram que a distância de ultrapassagem era praticamente constante. Nos locais onde existiam as ciclovias a distância rondou 1.95 metros e em locais onde não havia nenhuma sinalização a distância foi de 1.92 metros. Apenas foram registados seis casos de incumprimento do valor que se encontrava na lei (0.91 metro). Cinco destes casos ocorreram onde não havia ciclovia e a distância variou entre os 0.6-0.88 metro. Também foi possível concluir que, em muito casos, os condutores para realizar a

ultrapassagem transpuseram a linha contínua tendo sido mais evidente em zonas onde não havia ciclovias - cerca de 53.6% - face aos 11% onde havia marcação. O resultado final foi que 1151 manobras avaliadas, 107 (cerca de 9.3%) foram registadas como perigosas, considerando uma situação perigosa quando o veículo cruza a linha de divisão de tráfego ou havia tráfego em sentido contrário. O estudo revelou que os condutores cediam mais espaço do que era necessário para realizar a ultrapassagem e existe um pequeno número de condutores que não cumprem com a distância de segurança de ultrapassagem [21].

Dozza e Fernandez desenvolveram um protótipo para medir a dinâmica de condução e comportamento do ciclista [22]. A recolha destes dados auxilia ao desenvolvimento de sistema inteligentes para os ciclistas e ainda componentes que oferecem uma nova dinâmica entre o utilizador da bicicleta e os outros veículos. Os sensores utilizados neste estudo foram o acelerómetro, *GPS*, sensor de força no travão e ainda uma câmara, como se pode ver na Figura 2.4. O sistema foi montado em cerca de 20 bicicletas; no entanto, apenas 16 bicicletas completaram o estudo (8 mulheres e 8 homens).



Figura 2.4: Bicicleta instrumentada [22]

No fim cada viagem cada ciclista preencheu um questionário, com o intuito de recolher opiniões sobre a utilização da bicicleta e de outras temáticas. O desenvolvimento deste trabalho oferece a primeira compreensão do estudo do comportamento do ciclista e toda a dinâmica que se encontra ao seu redor. A conclusão principal do estudo revela que a utilização de equipamentos são fundamentais para aumentar a segurança e ainda reforçar a interligação entre os vários utilizadores da via pública [22].

Zhao et al analisaram a interferência lateral entre os veículos a motor (carros e camiões) e veículos que não têm motor (bicicletas, bicicletas elétricas e triciclos), com especial foco à distância crítica para que não aconteça acidentes. Em alguns casos, os condutores reagem fazendo a manobra para a sua segurança não se importando com a dos outros. Os resultados revelados neste estudo demonstram que os veículos a motor são aqueles que conseguem evitar mais a situação de conflitos (perigo). Em relação à distância de ultrapassagem, as bicicletas elétricas quando comparadas com bicicletas tradicionais foram aquelas que estiveram mais em perigo pois foi onde a distância foi menor. Esta diferença é devida às velocidades que cada uma das bicicletas pode alcançar. A distância crítica para realizar a ultrapassagem é entre 1.2-1.5 m. Os autores revelam que se a distância for menor que a mencionada anteriormente é provável que a maioria



dos veículos (75%) ajustem a velocidade ou então mudem de direção [23].

Houve um trabalho de cariz diferente dos restantes aqui mencionados, pois foi analisado não só o momento da ultrapassagem, mas também o que acontece instantes antes e depois [24]. Para realizar este estudo os autores dividiram a manobra em 4 partes, sendo elas a fase de aproximação, início da ultrapassagem, ultrapassagem e por último a fase de retorno tendo em cada uma delas definido uma área limite. Esta divisão permite não só perceber como se comporta o utilizador da bicicleta quando é ultrapassado, mas também influência da velocidade e do tráfego. Foi utilizada uma bicicleta elétrica para que o perfil de velocidades seja sempre o mesmo (22 km/h), duas câmaras de filmar (uma para a frente, outra para trás da bicicleta), um laser de varrimento Hokuyo UXM-30LXH-EWA e um *GPS* como se pode ver na Figura 2.5.

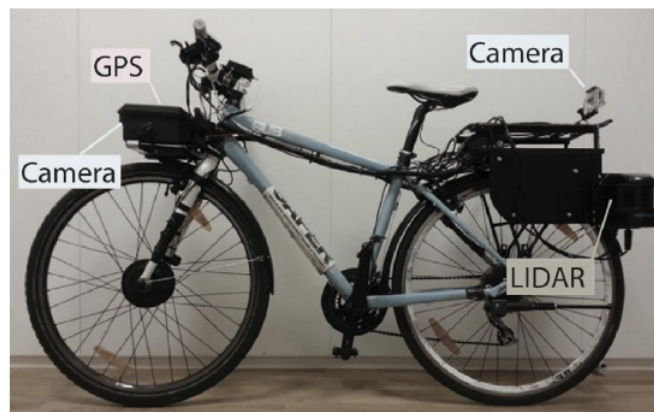


Figura 2.5: Bicicleta instrumentada [24]

Os locais escolhidos para as monitorizações foram duas estradas rurais da Suécia (Västra e Götaland) tendo sido realizados por duas pessoas que utilizavam capacete. Foi feito um primeiro estudo para saber qual era a melhor posição para colocar o laser (na retaguarda ou na lateral, sendo nesta última a melhor devido as suas características). Foi possível concluir que muitas das vezes os condutores passaram a uma distância inferior a 1.5 metro (ou menos de 1 metro) e a uma velocidade aproximadamente de 70 km/h, demorando menos de 2 segundos. Também identificaram que a existência de uma linha de aviso (utilizadas na Suécia para sinalizar locais de fraca visibilidade) revelou uma maior distância na fase de aproximação. Este estudo revelou que a largura da faixa e o limite de velocidade não influenciaram a zona de segurança embora esta tenha sido mais afetada pelo o volume de tráfego em sentido contrário. Na presença deste os veículos tiveram tendência de se aproximar da bicicleta para contornar o ciclista. Com a utilização do *LIDAR* foi possível compreender toda a manobra de ultrapassagem, pois na maior parte dos estudos até a data só era possível analisar a distância.

Lee e Hahn utilizaram *smartphone*, *GPS* e um acelerómetro, para recolher dados da viagem de cada ciclista sendo depois gravados e transmitidos para um servidor, permitindo assim construir um mapa de segurança e a comunicação entre os restantes utilizadores deste sistema [25]. Na Figura 2.6, encontra-se um esquema do funcionamento de todo o sistema. Os dados são recolhidos pela bicicleta e enviados para o servidor; de seguida os valores da base de dados são atualizados e por último a informação é transmitida para as bicicletas que se encontram na rede através do protocolo *TCP/IP*.

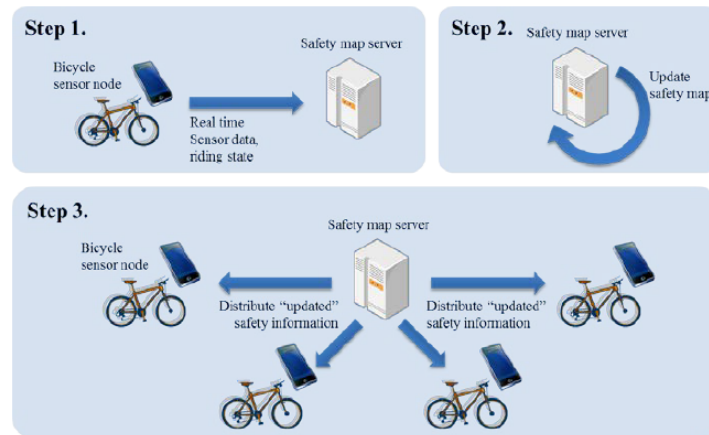


Figura 2.6: Processo de atualização dos dados [25]

A criação de mapa de segurança permite fornecer dados sobre o risco de acidentes em determinadas zonas. No sentido de avaliar e classificar cada percurso, o mesmo foi dividido em vários troços com um comprimento máximo de 3 km. O risco de acidente é calculado com base na informação recolhida pelos sensores já mencionados anteriormente e ainda com dados recolhidos no local. A trajetória de cada bicicleta é construída através dos dados recolhidos de latitude e longitude.

Para a avaliação do risco é utilizada a distância Fréchet, que mede a diferença entre duas linhas poligonais onde depois ocorre uma posterior classificação tendo em conta também o histórico de acidentes nos últimos cinco anos. Para a validação de todo o sistema, foram realizados testes durante duas semanas com a participação de 45 pessoas onde se chegou à conclusão que existem várias variáveis a ter em conta para a realização do mapa [25].

Em Portugal cita-se, a título de exemplo, o trabalho realizado por Baptista et al, que desenvolveram uma bicicleta para comparar a dinâmica de viagem com o consumo de energia, impacto de dióxido de carbono e de óxido de azoto "desde o poço até a roda" (*WTW*). Os testes foram realizados em Lisboa e utilizaram cinco meios de transporte: duas bicicletas (uma elétrica e uma convencional), dois automóveis (um elétrico e um convencional) e um autocarro. O percurso tinha uma distância de 8.5 km, sendo a partida e a chegada no Instituto Superior Técnico, passando pelo Parque Eduardo VII, Avenida da Liberdade e Baixa. Os resultados revelam que o consumo de energia (*WTW*) da bicicleta elétrica é apenas 11%, 3%, 1%, 2% e 4% da energia necessária do automóvel elétrico com uma potência 4.8 kW, do automóvel elétrico convencional com 20 kW, do automóvel a gasolina, do automóvel a gasóleo e do autocarro, respetivamente. No que toca às emissões do dióxido de carbono desde o poço até à roda, a bicicleta elétrica emitiu cerca de 13% menos que automóvel elétrico com uma potência 4.8 kW e 4% menos quando se compara com um automóvel elétrico convencional com 20 kW. No óxido de azoto os valores são praticamente iguais com menos de 12% e 4% para automóvel elétrico com uma potência 4.8 kW e automóvel elétrico convencional com 20 kW respetivamente. Ao realizar uma análise das emissões desde o depósito até à roda o carro a gasolina emite 0.44 g/pessoa, o carro a gasóleo emite 4.5 g/pessoa e o autocarro cerca de 8.4 g/pessoa [26].

Foi realizado um trabalho na Universidade de Aveiro (UA) que teve como alvo o levantamento de dados de três percursos entre a estação de Comboios de Aveiro e a UA. Para cada percurso foram tidos em conta os perfis de velocidade, altitude, aceleração e ângulo de rotação, no sentido de selecionar o melhor trajeto [27].

O desenvolvimento das novas tecnologias e a sua entrada nos mercados tem tido cada vez mais influência na sociedade global. Conciliar as vantagens dos novos equipamentos com a mobilidade pode constituir uma mais valia para melhorar a segurança de todas as pessoas que utilizam a bicicleta nas suas deslocações.

## 2.2 Soluções comerciais

Verificou-se que já existem algumas soluções já têm incorporado os mais diversos equipamentos ou até mesmo aplicação de pequenos componentes na bicicleta.

A marca sueca, Volvo, desenvolveu um equipamento que permite detetar bicicletas e peões permitindo prever as mudanças de trajetória denominado "Pedestrian and Cyclist Detection with full auto brake" [28]. O conhecimento para a detenção de peões foi bastante importante como se poder ver na Figura 2.7.

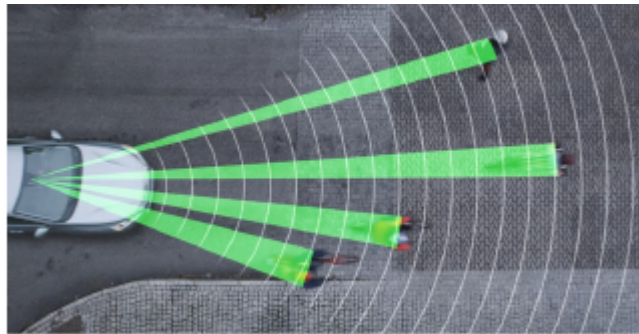


Figura 2.7: "Pedestrian and Cyclist Detection with full auto brake" [28]

O sistema utiliza um radar de duplo efeito que se encontra no interior do carro e este permite detetar possíveis colisões e a que distância se encontram devido à sua grande resolução.

Este sistema possui ainda uma câmara que se encontra alojada no espelho retrovisor para detetar os peões e os ciclistas. Os dados recolhidos pela câmara e pelo radar são cruzados para que a informação seja a mais correta possível e que possa ser enviada informação ao condutor. Caso o condutor não haja é acionado o travão automaticamente [28].

Também foi desenvolvido pela marca mencionada anteriormente e mais duas empresas - *POC* (empresa de equipamento de desporto) e a *Ericsson* (empresa de telecomunicações) - um capacete que ajuda a prevenir acidentes. O utilizador da bicicleta ao conectar o capacete a uma aplicação de telemóvel, como por exemplo o Strava envia os dados para uma "nuvem". Como o carro também se encontra ligado à nuvem se por acaso houver risco de acidente o utilizador da bicicleta é avisado por luzes que se encontram incorporadas no capacete enquanto o condutor do carro recebe um alerta que é fornecido pelo "head-up" que se encontra projetado no vidro do carro [29].



A *Valour* é uma bicicleta que foi desenvolvida pela empresa canadiana *Vanhawks* para utilizadores que se deslocam principalmente em ambiente urbano [30] [31]. A bicicleta utiliza *Bluetooth* para se ligar ao *GPS* do *smartphone* tenha ele um sistema operativo *iOS* ou *android* para fornecer a rota. Escolhido o percurso as indicações para mudança de direção são fornecidas através de díodos emissor de luz (conhecido por *LED*) que se encontram no guiador. Também contém sensores ultra-som para detetar perigo de colisão, onde em caso de ameaça de colisão o volante vibra avisando que existe uma potencial ameaça. O acelerómetro permite detetar qualquer tipo de movimento fora do comum como buracos que se encontram na estrada, piso com irregularidades e ainda subidas. A bicicleta também contém sensores que são capazes de medir a velocidade, distância e o tempo de viagem em tempo real. Estes dados são transmitidos para a aplicação de telemóvel onde regista toda a informação para que depois possam ser consultados. A bicicleta tem uma bateria para alimentar todos os equipamentos. Para realizar o carregamento da mesma basta apenas pedalar durante uma hora. Caso o telemóvel fique sem bateria a bicicleta continua a recolher os dados, mas não é possível realizar a viagem com auxílio do telemóvel. Os autores deste projeto referem que, em caso de roubo, o utilizador pode informar outros através da aplicação e caso a bicicleta passe por uma pessoa que dispõe do mesmo equipamento é emitido um alerta indicando a posição onde se encontra [30] [31].

O *LANESIGHT* foi criado por Michael Farb e Frank Rivas permite detetar veículos quando se aproximam da retaguarda dos ciclistas [32]. Na Figura 2.8 pode-se visualizar o equipamento, a câmara de filmar que se encontra referenciado com o número 2, dois LED's (branco e vermelho) número 3; o número 4 é o sensor de ultra som e o número 5 é o cabo micro *USB* que serve para realizar a comunicação entre o equipamento e o telemóvel.

Quando o sistema deteta a presença de veículo ele altera o condutor do veículo com a alternância das luzes e quanto mais perto estiver o carro mais rápida é a variação. O utilizador da bicicleta recebe um alerta sonoro para avisar que se encontra um veículo a aproximar e pode observa-lo através da aplicação de telemóvel.

Caso a ultrapassagem seja perigosa, a aplicação do telemóvel guarda um vídeo da ultrapassagem. O sistema mencionado foi só concebido para ser utilizado apenas durante o dia. Durante à noite os autores estão estudar soluções para combater esta lacuna [32].



Figura 2.8: Sistema Lanesight [32]

Um equipamento idêntico foi desenvolvido pela *Garmin* denominado *Varia™ Rearview Radar*. É constituído por dois equipamentos: um deles encontra-se no selim da bicicleta e o outro encontra-se no volante da mesma. O radar que se encontra no selim da bicicleta começa a detetar a presença de carros quando se encontram a 140 metros. À medida que o automóvel se aproxima é possível visualizar no equipamento que se encontra no

volante um acompanhamento do movimento do carro através de um diodo emissor de luz. O equipamento que se encontra na retaguarda pisca com mais intensidade chamando à atenção do condutor na altura que vai realizar a ultrapassagem. Para realizar a comunicação entre os dois equipamentos não é necessário utilizar qualquer tipo de fio [33].



Figura 2.9: Sistema-Varia™ Rearview Radar [33]

O *Byxee* funciona de modo análogo ao equipamento referido anteriormente. A única diferença é que em vez de detetar os obstáculos que se encontram à retaguarda identifica possíveis perigos que se encontram na frente do ciclista, que muitas das vezes não são identificados à primeira vista. Este equipamento tem uma câmara de vídeo e um microprocessador que permite detetar principalmente diferenças no pavimento como se pode ver na Figura 2.10. O equipamento tem uma alcance entre 15 a 25 metros e quando encontra objetos com uma dimensão superior a 75 mm é emitido um sinal sonoro para chamar à atenção. Perante os inúmeros estudos e soluções comerciais que já existem, umas melhores que outras, o trabalho que é apresentado nesta Dissertação vai utilizar componentes similares aos trabalhos mencionados anteriormente podendo ser utilizados em ambiente urbano como rural. A realização deste trabalho pode ser uma solução para melhorar a segurança de todos os utilizadores da via pública. As soluções que se encontram no mercado têm um custo bastante elevado. O protótipo que aqui é apresentado é uma solução de baixo custo de aquisição e tem uma grande interação com o utilizador.

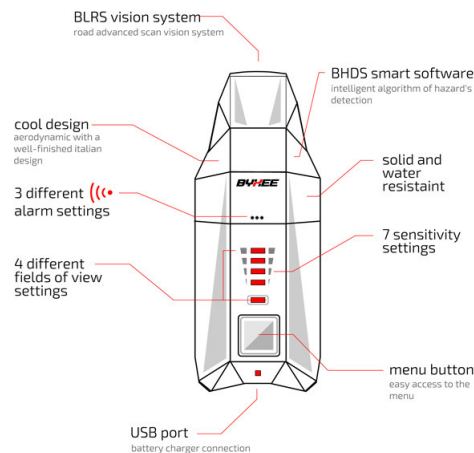


Figura 2.10: Byxee [34]

## Capítulo 3

# Metodologia e Métodos

Neste capítulo é apresentada a metodologia de trabalho desenvolvida a fim de justificar as opções tomadas. Para uma melhor compreensão do leitor e com a finalidade de alcançar os objetivos pré-estipulados é apresentado, por tópicos, cada tarefa e um breve resumo das mesmas.

As tarefas foram divididas na seguinte forma:

### **Tarefa 1**-Revisão bibliográfica

- A primeira tarefa foi a realização de uma pesquisa sobre a temática que levou à realização desta dissertação, com o intuito de saber como se encontram os hábitos dos vários países da União Europeia na utilização dos diversos meios de transporte, com especial ênfase na utilização da bicicleta e ainda se realizou uma pesquisa sobre a sinistralidade rodoviária. Também se efetuou uma pesquisa de trabalhos já desenvolvidos dentro da mesma área, bem como algumas soluções comerciais que se encontram no mercado (Capítulos 1 e 2).

### **Tarefa 2**-Programação do *hardware*

- A tarefa que se sucedeu foi a realização de um pré-estudo, como funcionavam os sensores que iriam ser necessários para o trabalho bem como o desenvolvimento do código (Capítulo 3).

### **Tarefa 3**-Desenvolvimento da aplicação de telemóvel

- Estudo dos vários softwares para realização da *app* e a sua posterior realização (Capítulo 3).

### **Tarefa 4**-Teste do protótipo

- Esta tarefa incidiu, essencialmente, na realização de vários tipos de testes com o protótipo, pela cidade de Aveiro, no sentido de aferir como era a resposta do sistema em diferentes situações (Capítulo 4).

### **Tarefa 5**-Análise de resultados e discussão

- Nesta tarefa foram recolhidos e analisados os dados experimentais (Capítulo 4).

### **Tarefa 6**-Escrita da dissertação

- A última tarefa, foi sempre realizada em simultâneo com as restantes tarefas. O Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões da dissertação.

A Figura 3.1 esquematiza a calendarização das tarefas que foram necessárias para a realização da dissertação assim como a sua respetiva calendarização.

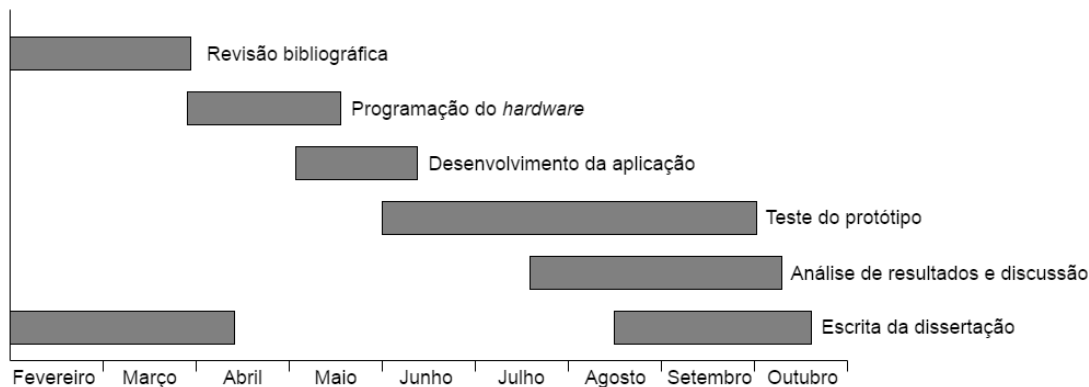


Figura 3.1: Calendarização das tarefas

### 3.1 Instalação da plataforma de sensores

Nesta secção realizou-se uma descrição de todos os componentes utilizados, apresentando algumas das suas principais características. A Figura 3.2 são os equipamentos utilizados neste projeto e a Tabela 3.1 é a respetiva lista de peças. Figura 3.3 é a montagem de todos os equipamentos.

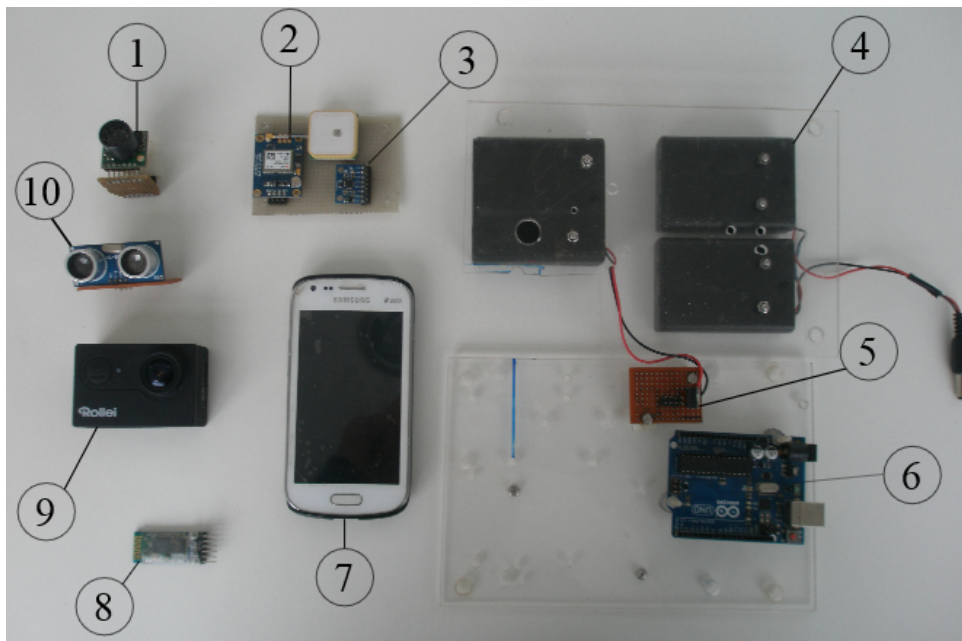


Figura 3.2: Lista de componentes

Tabela 3.1: Lista de peças

Número	Descrição do componente
1	Sensor distância-MB1200 XL-MaxSonar® EZ0™
2	Módulo GPS-NEO-M8N
3	Módulo Acelerómetro e Giroscópio-MPU 6050
4	Sistema de Alimentação
5	Regulador de tensão-LM 7805
6	<i>Arduino Uno</i>
7	Telemóvel-Samsung Galaxy S Duos
8	Módulo <i>Bluetooth</i> -HC 05
9	Câmara-Rollei Actioncam 425
10	Sensor distância-HC-SR04

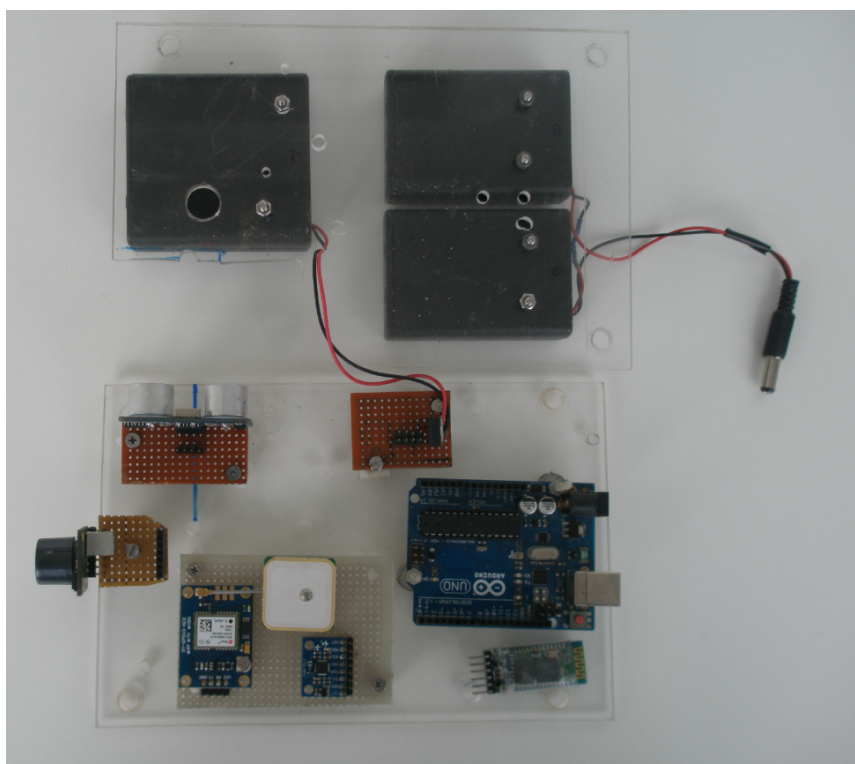


Figura 3.3: Protótipo do estudo

### Acelerómetro e Giroscópio

O módulo utilizado para detetar a inclinação e a aceleração da bicicleta foi o MPU 6050 (ver Figura 3.4). Este equipamento permite estudar os dois parâmetros referidos anteriormente na direção X, Y e Z. O estudo do perfil de aceleração permite concluir as mudanças de velocidade no percurso, enquanto a inclinação fornece informação sobre orografia do terreno. Este sensor também permite medir a temperatura, tendo uma gama de funcionamento entre os menos 40°C e os 85°C positivos.

Especificações técnicas:

Tensão: 2.4-3.5 V;

Corrente: 3.9 mA;

Tipo de Comunicação: Protocolo *I2C*;

Sinal de saída do acelerómetro pode ser programado em:  $\pm(2, 4, 8 \text{ e } 16) \text{ g}$ ;

Sinal de saída do giroscópio pode ser programado em:  $\pm(250, 500, 1000 \text{ e } 2000) \text{ }^\circ/\text{s}$ ;

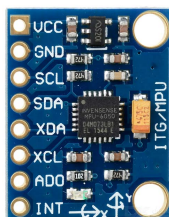


Figura 3.4: Módulo MPU-6050 [35]

### Módulo *Bluetooth*

Para a realização da comunicação entre os vários sensores e o telemóvel foi utilizado o módulo *Bluetooth* HC-05 (ver Figura 3.5). Este componente tem um papel muito importante pois é graças a ele que se realiza o envio de informação entre os sensores e a aplicação desenvolvida.

Especificações técnicas:

Tensão: 2.7-4.2 V;

Corrente: 8-35 mA e

Alcance: 10 metro.

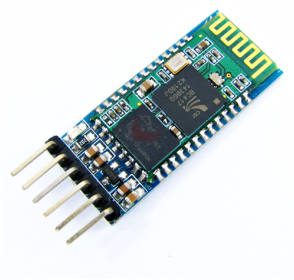


Figura 3.5: Módulo Bluetooth HC-05 [36]

### *Arduino-Uno*

Para o desenvolvimento do código para cada sensor foi utilizado o *IDE Arduino*. Este *software* permite ao programador desenvolver o seu programa no computador e de seguida enviá-lo para a placa onde se encontram ligados os sensores. Neste trabalho foi utilizado o *Arduino<sup>TM</sup>-UNO* como se pode ver na Figura 3.6.

Especificações técnicas:

Micro-controlador: ATmega 328P;

Cristal de 16 MHz;

Tem 14 pinos digitais podendo funcionar com entradas/saídas e 6 pinos Analógicos

Tensão: 6-20 V;

Corrente: 20 mA /pino e

Memória *Flash* de 32 KB (ATmega 328P).

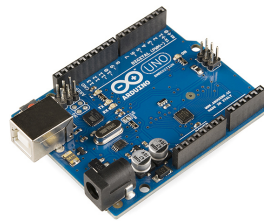


Figura 3.6: *Arduino-UNO* [37]

### Módulo *GPS*

O módulo *GPS* utilizado é o APM NEO-M8N, como se pode ver na Figura 3.7. Através deste dispositivo é possível obter as coordenadas geográficas (latitude, longitude, altitude), dados temporais como (horas, minutos, segundo, ano, mês, dia) e ainda o valor da velocidade entre outros parâmetros.

Especificações técnicas:

Tensão: 2.7-3.6 V;

Corrente: 10 mA e

Frequência de sinal: 0.25 Hz -10 MHz.



Figura 3.7: Módulo *GPS-NEO M8N* [38]

### Sensor de distância

Com o intuito de perceber qual seria o melhor sensor para medir a distância, realizou-se um estudo sobre o modo de funcionamento dos infravermelhos, ultrasons e lasers.

Os sensores que funcionam por infravermelhos não são uma solução viável para este estudo, pois a luz solar iria influenciar o desempenho, assim como a natureza superfícies e



o estado da lente. Os ultra sons quando comparados com os laser têm uma menor precisão, uma vez que o som tem uma menor velocidade de propagação. Outra desvantagem é o modo de propagação do som que se dispersa em forma de cone enquanto que o laser é focado num único ponto ou então encontra-se restringido à sua largura de varrimento. O custo associado à utilização do laser é uma desvantagem que levou a que não fosse a opção escolhida. A escolha recaiu nos ultra sons, pois para além de serem mais baratos quando comparado com os laser, têm uma precisão superior aos infravermelhos. O sensor escolhido funciona segundo o princípio de funcionamento de emissão e receção de uma onda quando atinge um determinado obstáculo. O sensor emite uma onda, denominada pela onda emissora e quando atinge um objeto é refletida. No momento que é detetada pelo recetor é possível calcular o tempo de voo/viagem entre o emissor e o recetor. Como a velocidade do som é 340 m/s (desprezando efeitos da temperatura no ar e humidade, entre outros fatores) é possível calcular a distância a que se encontra o obstáculo. Um exemplo é HC-SR04 (ver Figura 3.8) tendo sido utilizado numa fase inicial. Efetuadas inúmeras experiências com o HC-SR04, este não teve o desempenho pretendido, pois havia muitos veículos que não eram detetados quando este se encontrava na retaguarda da bicicleta. Perante esta situação foram estudadas novas alternativas e a escolha final acabou por recair no MB1200 XL-MaxSonar®EZ0™ (ver Figura 3.9). Este sensor tem o mesmo princípio de funcionamento, residindo a diferença entre, essencialmente, no seu alcance.

Especificações técnicas:

Tensão: 5 V;

Corrente: 15 mA;

Frequência leitura: 40 Hz;

Alcance mínimo: 2 cm e

Alcance máximo: 400 cm.



Figura 3.8: Sensor de distância HC-SR04 [39]

Especificações técnicas:

Tensão: 3.3-5 V;

Corrente: 3.4 mA;

Frequência de leitura: 10 Hz;

Alcance máximo: 765 cm e

Alcance mínimo: 25 cm.





Figura 3.9: Sensor distância-MB1200 XL-MaxSonar® EZ0™ [40]

### Sistema de alimentação

Para realizar alimentação de todo o sistema foi necessário ter duas fontes de alimentação, tendo uma delas com um valor de tensão de 9 Volt (resultante de colocar 6 pilhas de 1.5 V em série) que fornece energia ao MPU 6050 e ao MaxSonar 1200. A segunda fonte tem uma tensão de 6 Volt (4 pilhas de 1.5 V em série), que tem de passar previamente por um regulador de tensão (LM7805) de 5 Volt para poder alimentar o *GPS* e o módulo *Bluetooth* (ver Figura 3.10).

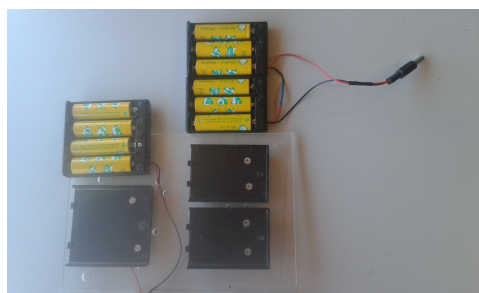


Figura 3.10: Sistema de alimentação

### Câmara

A câmara de filmar utilizada foi Rollei Actioncam 425. Este equipamento é essencial para este tipo de estudos para que depois seja possível comparar os dados recolhidos com as gravações e retirar conclusões (ver Figura 3.11).



Figura 3.11: Câmara de filmar-Rollei Actioncam 425 [41]

A Figura 3.12, é um esquema como se encontram interligados todos os equipamentos utilizados para o desenvolvimento desta solução.

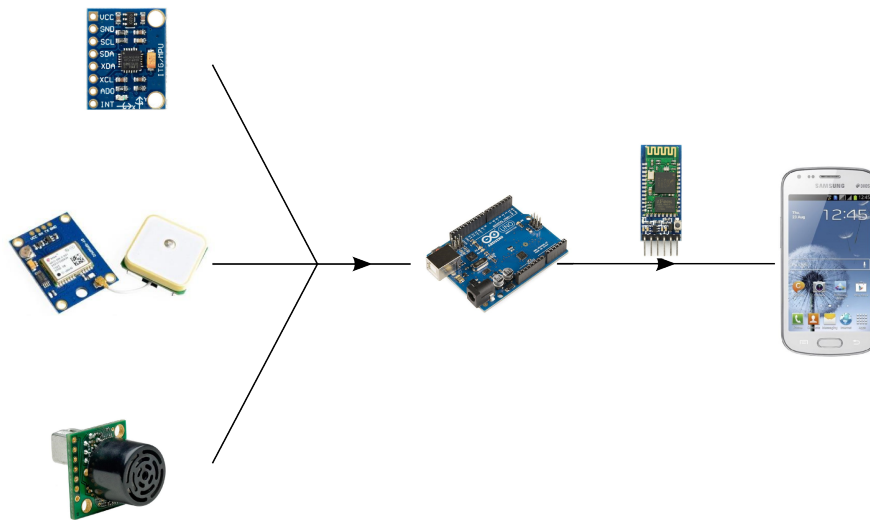


Figura 3.12: Fluxograma de interligação de todos os componentes

### 3.2 Desenvolvimento da aplicação em *Android*

O conceito do telemóvel tem sofrido uma evolução sistemática desde o seu aparecimento até aos dias de hoje. Antigamente eram essencialmente utilizados para a realização de telefonemas. Nos dias de hoje com o surgimento dos *smartphones* assistimos ao aparecimento e desenvolvimento de um grande número de funcionalidades para o telemóvel que, num passado recente, não eram tidas em conta. O aparecimento destas aplicações de telemóvel tornou mais comum o uso dos *smartphones*, graças à sua fácil utilização e instalação. No contexto desta dissertação foi desenvolvida uma *app* para o telemóvel onde o utilizador pode consultar os dados em tempo real de uma forma simples e intuitiva.

A *app* foi desenvolvida para telemóveis *android*, pois é um sistema operativo que tem um grande número de utilizadores e é líder no seu segmento. Segundo a *Statista-The portal for statistics*, no 2º trimestre de 2016 (Q2'16) 86.2% das vendas dos telemóveis foi da marca referida anteriormente, como se pode visualizar na Figura 3.13.

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado, em primeiro lugar, o App Inventor desenvolvido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology). Perante alguns testes, o autor encontrou algumas barreiras, desde alguma falta de informação necessária para realizar determinadas funções, tendo então optado pelo *Android Studio* [43]. Ambos os *softwares* têm a mesma metodologia "drag and drop" (clicar num determinado objeto e "arrastá-lo"), para a realização da interface; a diferença surge na atribuição do invento ao elemento: enquanto que o *App Inventor* funciona pela construção de blocos, no *Android Studio* a atribuição da função é feita em código pelo programador. O *Android Studio* é um exemplo dos muitos *softwares* que se encontram disponíveis no mercado e que está em constante desenvolvimento /atualização pela *Google*. A aplicação foi desenvolvida numa determinada sequência e estrutura de modo que qualquer pessoa possa usufruir sem dificuldade. A interface gráfica da *app* foi feita em *xml*, onde o utilizador tem inúmeras funcionalidades como botões, caixa de texto entre outros, funcionando pela tipologia "drag and drop". Já no que toca à atribuição da rotina ao objeto (por exemplo botão, caixa de texto entre outros) tem de ser feito em linguagem *java*. No instante em que se

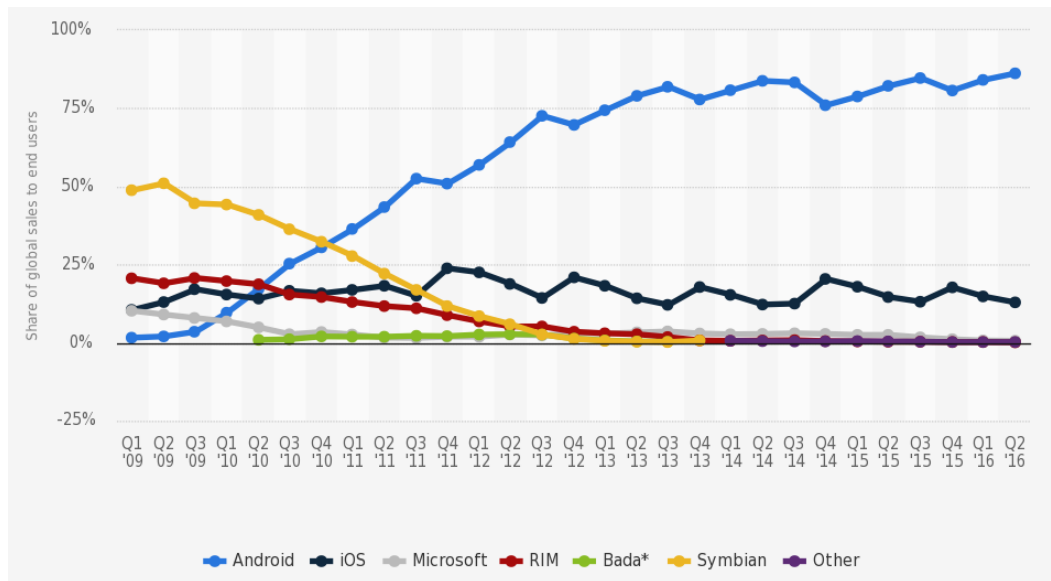


Figura 3.13: Quota das vendas de mercado dos vários sistemas operativos [42]

inicia a aplicação, o utilizador vai visualizar a primeira janela, sendo representada pela Figura 3.15a. Nesta janela, encontra-se o menu geral da app que possui 4 sub-menus: "App", "Dados da app", "Ajuda" e, por último, o "Perfil do utilizador" como se pode ver na 3.15b.

No momento da escolha do primeiro menu o utilizador vai transitar para a Figura 3.15c. Onde ao clicar no botão "Procurar" o sistema vai realizar uma pesquisa sobre os módulo *Bluetooth* que é possível estabelecer a conexão. Para a escolha do dispositivo a conectar basta apenas realizar um toque com o dedo no ecrã do telemóvel sobre o nome do equipamento. Caso a ligação seja bem-sucedida, aparece uma mensagem no ecrã e, neste momento, o telemóvel começa a receber informação dos dados referentes à aceleração, inclinação em cada direção, coordenadas geográficas, a velocidade (km/h) e ainda o valor da distância a que se encontram os veículos 3.15d e 3.15e.

Quando se pretender terminar o percurso basta clicar no botão "Terminar Sessão" e, neste momento, é gerado um ficheiro de texto com extensão .txt com os dados da viagem que o utilizador pode consultar em qualquer momento. Sempre que é premido este botão é gerado um novo ficheiro tendo no nome dele a data e a hora em que foi realizada a viagem. Se por acaso não for possível estabelecer a conexão irá aparecer uma mensagem tal como se encontra na Figura 3.15f.

No item "Dados da app" (Figura 3.15g), é apresentada uma janela onde pode consultar alguns aspetos da aplicação; no item "Ajuda" é feita uma apresentação para saber qual o intuito da app (Figura 3.15h), Finalmente, no sub-Menu "Perfil do utilizador", o utilizador pode preencher os campos relativamente aos seus dados pessoais (Figura 3.15i). Toda a aplicação foi planeada e desenvolvida numa determinada sequência e estrutura de modo que o utilizador possa interagir sem dificuldades e que a consulta dos dados seja feita de modo rápido e intuitivo. Também se encontra disponível uma versão em Inglês. A Figura 3.14, é um esquema resumo do modo de funcionamento da aplicação desenvolvida, com os diversos menus e funcionalidades anteriormente descritos. O telemóvel utilizado para realização dos testes foi o *Samsung Galaxy S Duos*, onde o

utilizador pode consultar toda a informação em tempo real.

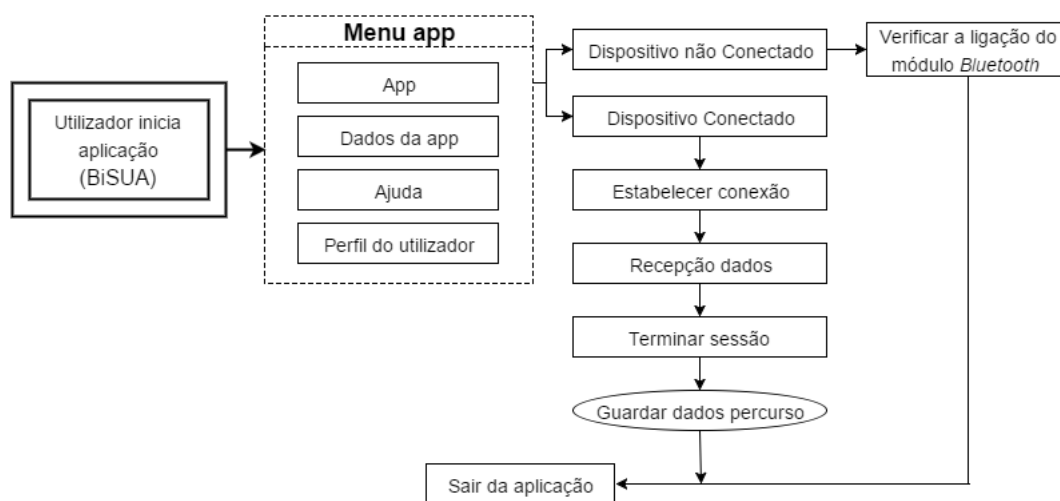


Figura 3.14: Fluxograma do funcionamento da aplicação desenvolvida

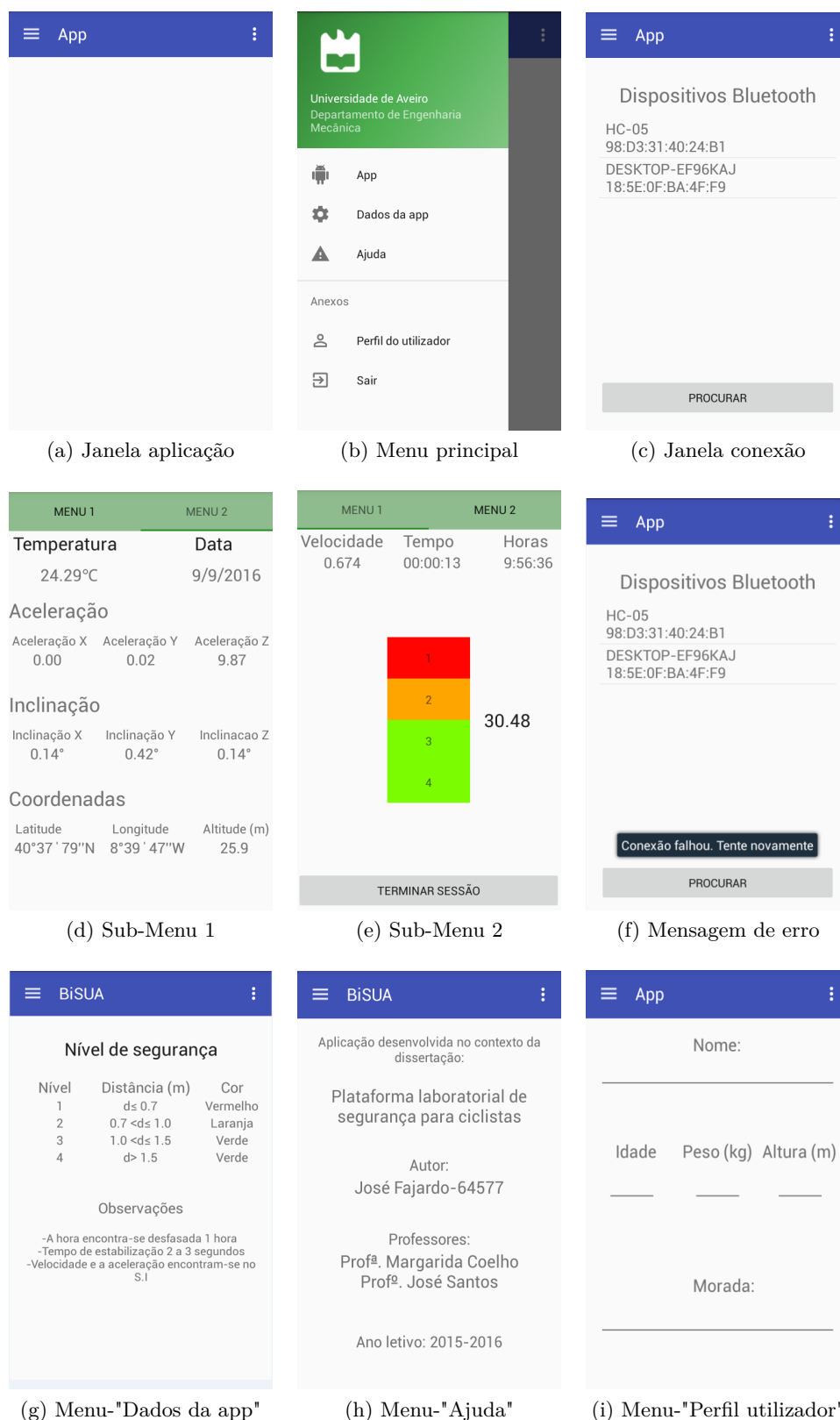


Figura 3.15: Janelas da aplicação

### 3.3 Trabalho experimental

O trabalho experimental é explicado, nesta secção, referente a escolha dos percursos e as condições para a realização dos testes. Antes da realização do conceito final, foram efetuados vários testes preliminares no intuito de perceber como era o desempenho do sistema desenvolvido. O protótipo desenvolvido tem como objetivo ajudar a reduzir o número de acidentes envolvendo ciclistas ou mesmo evita-los. A utilização do sensor de distância tem como função detetar e acompanhar o momento de aproximação dos veículos. Para obter o produto final muitas experiências/testes foram realizadas no sentido de avaliar o desempenho do sensor e de todo o sistema. Foram realizados vários testes em diferentes locais da cidade de Aveiro, para expor o protótipo às mais diversas situações possíveis. Numa primeira etapa estudou-se, isoladamente, cada sensor, tanto estática como dinamicamente. Porém, houve um maior trabalho com o sensor de distância, pois era o equipamento essencial para o trabalho.

#### 3.3.1 Bicicleta e protótipo final

A montagem de todo o sistema foi feita na retaguarda da bicicleta pois ela já disponha de uma zona onde habitualmente as pessoas colocam alguns equipamentos e ainda por ser de fácil acesso caso fosse necessário verificar algum equipamento durante a realização dos testes. O telemóvel foi colocado no guiador da bicicleta para que o utilizador possa aceder facilmente aos dados que pretende consultar, não alterando significativamente o seu campo de visão. A câmara de filmar foi colocada na parte de trás da bicicleta para que depois seja possível realizar uma comparação das filmagens com os valores registados no ficheiro (.txt). Os testes foram realizados numa bicicleta cedida pela Órbita (CLASSIC S com a Ref.<sup>a</sup> 22119 [44]).

Na Figura 3.16 é o resultado da solução desenvolvida denominado-se por BiSUA (Bicicleta Segura da Universidade de Aveiro).



Figura 3.16: Bicicleta e o protótipo

A Figura 3.17 representa o esquema da solução materializada. Aqui, o módulo *Arduino* recebe os dados provenientes dos sensores que se encontram na bicicleta (sensor de distância, *GPS*, acelerómetro). A comunicação entre estes e o telemóvel é realizada através do módulo *Bluetooth*, sendo este equipamento fundamental para o bom funcionamento de todo o sistema. Para que o ciclista seja alertado a que distância se encontram os obstáculos foram desenvolvidas 2 soluções. A primeira tem uma barra de 4 níveis de segurança onde cada nível está associado a uma distância. A segunda, no sentido de chamar atenção, permite que o telemóvel vibre com maior frequência no sentido de chamar atenção do utilizador para os obstáculos que se aproximam.

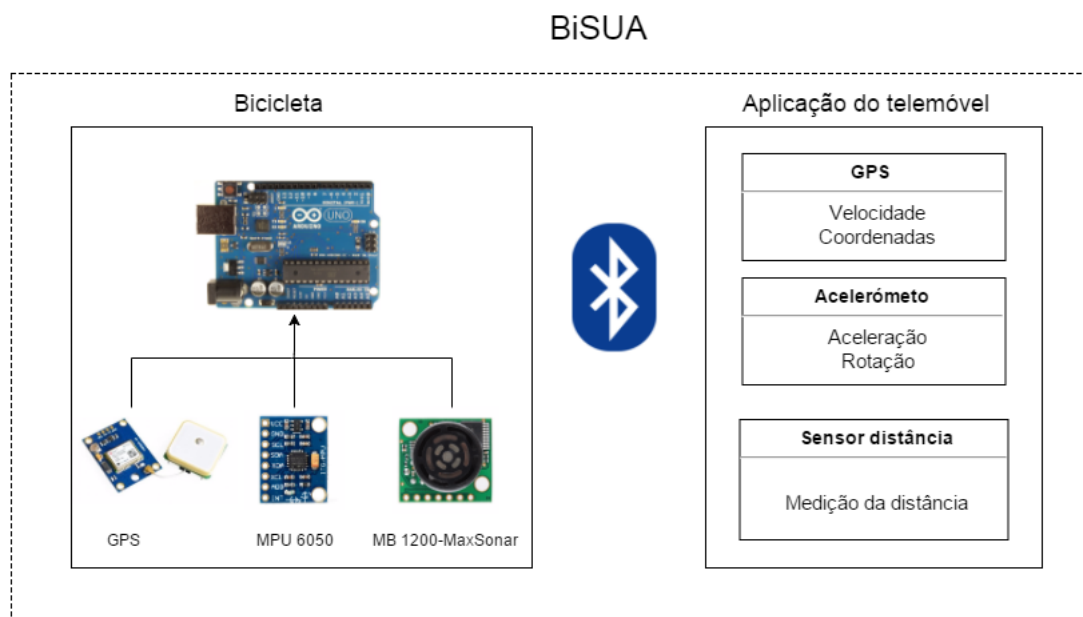


Figura 3.17: Esquema da solução

### 3.3.2 Escolha dos percursos

A escolha dos percursos foi baseada nas deslocações diárias mais frequentes para a Universidade de Aveiro. Numa primeira análise, realizou-se um pré-estudo no Percurso TP 1 e TP 2, (Teste Preliminar 1 e 2), onde foi estudada a influência do ângulo de rotação entre os 0° até 90° para a deteção de veículos. Foram escolhidos os Percursos A, B e C para realizar o estudo do funcionamento do sensor em ambiente urbano. Os motivos que levaram à escolha do Percurso A foi devido ao grande número de utilizadores do comboio entre a Estação Ferroviária de Aveiro e a Universidade de Aveiro e os restantes foram selecionados devido à existência de determinados locais na cidade de Aveiro onde existe uma grande afluência de tráfego e um grande número de estudantes a residir no período de aulas. Cada percurso escolhido apresenta diferentes características, podendo ser feito por vias principais ou secundárias desde o ponto de partida até ao ponto de chegada.

As Figuras 3.18 e 3.19 representam os mapas relativos aos percursos de pré-estudo. O primeiro tem início e fim na Rua Nova, perto do ISCAA (Instituto Superior de Con-



tabilidade e Administração de Aveiro) enquanto que o segundo começa no parque de estacionamento junto à Polícia Judiciária de Aveiro e fim na Rua de Castro Matoso 52. Com este percurso pretendeu-se, essencialmente, percorrer a Avenida Araújo e Silva, quase sempre em linha reta e com menor tráfego que primeiro trajeto. Com ele é possível analisar com mais detalhe e clareza as variáveis em estudo que no trajeto anterior não foram tão esclarecedores. A realização do estudo da variação do ângulo de rotação do sensor em dois locais, deveu-se à necessidade de não estar restringido a um único resultado. Ainda nos Percursos TP 1 e TP 2 foi realizado um estudo mais refinado. Neste caso, a variação do ângulo de rotação foi de  $5^\circ$ . O objetivo do pré-estudo foi saber qual o ângulo ou o intervalo de valores que era mais indicado para a deteção dos veículos da via pública para que depois poder utilizar nos teste finais.

Os testes foram feitos em ambientes reais em que há muitos fatores que não é possível prever. Perante esta razão, os testes foram sempre feitos pela mesma pessoa para que o perfil de condução seja semelhante. Perante algumas variáveis que não é possível controlar, o autor tentou que as condições fossem as mesmas durante os dias em que foram realizados os testes. Tendo em conta que os testes foram efetuados em meio urbano com outros utilizadores da via pública, as regras de trânsito, foram cumpridas no sentido de prevenir/evitar acidentes facilitando a interação com os diversos utentes da via pública.

Os testes (TP 1 e TP 2) experimentais para analisar a viabilidade do sensor foram realizados entre os dias 28 a 30 de Setembro em dois períodos do dia entre as 08:00 h-09:00 h e 17:30 h-18:30 h. O motivo para a escolha destes períodos é a grande afluência que existe durante estes períodos do dia. Neste dia o céu encontrava-se limpo e a temperatura rondou os  $18-20^\circ\text{C}$ . O Percurso A, B e C foram realizados nos dias 18, 19, 20 e 21 de Outubro durante as 08:00 h-09:00 h e 17:30 h-18:30 h, tendo nestes dias temperatura rondado entre  $17-18^\circ\text{C}$ . Os testes que decorreram a noite foi entre as 19:30 h-20:30 h onde a temperatura foi entre  $16-18^\circ\text{C}$  [45].

Em complemento do estudo foi feita uma análise para verificar qual era a distância lateral que os veículos deixavam para realizar ultrapassagem e assim verificar se a distância de metro e meio estava a ser cumprida como se encontra estipulado no Código da Estrada Português [46].

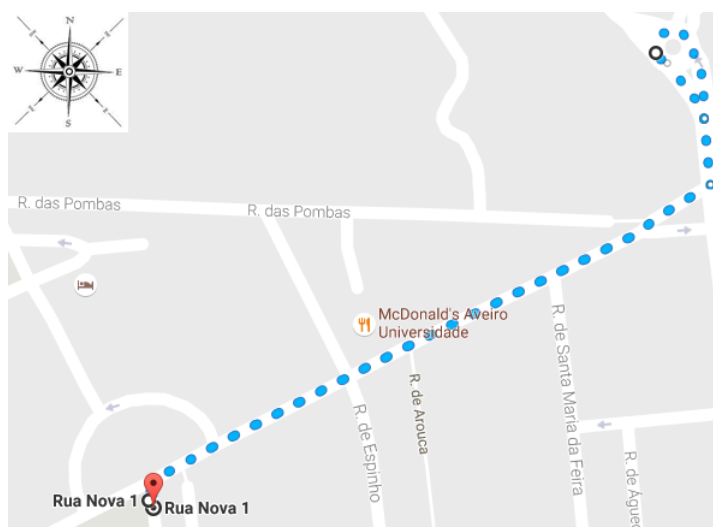


Figura 3.18: Percurso do pré-estudo-TP 1 [47]



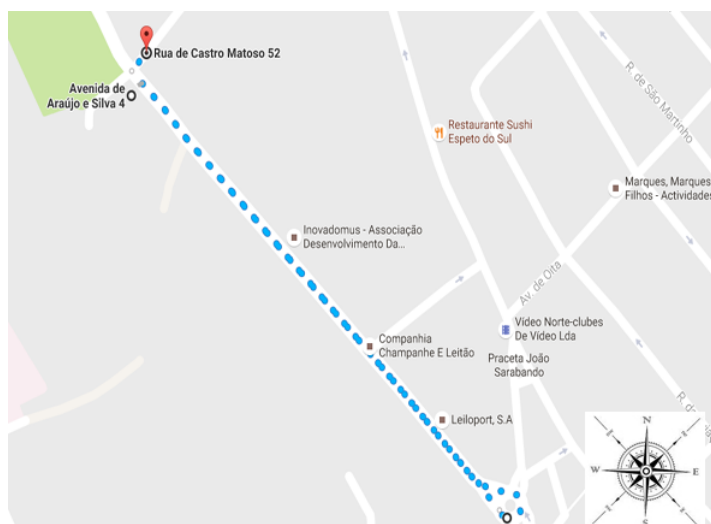


Figura 3.19: Percurso do pré-estudo-TP 2 [47]

O Percurso A tem origem na Estação Ferroviária de Aveiro e como destino a Universidade de Aveiro (Figura 3.20).



(a) Estação Ferroviária de Aveiro [48]



(b) Universidade de Aveiro (Reitoria) [49]

Figura 3.20: Percurso A-Partida (a) e Chegada (b)

O ciclista inicia a sua viagem na Rua Dr. João Moura onde, mais tarde, acaba por convergir na Rua do Sr. dos Aflitos. Ao descer essa Rua encontra-se o primeiro cruzamento que faz a ligação à Avenida Congresso Oposição Democrática onde há uma ciclofaixa ao longo da sua extensão. No fim da Avenida encontra-se uma rotunda onde o utilizador deve tomar a 3ª saída para a Rua do Comandante Rocha até chegar à Avenida 5 de Outubro acabando de a percorrer na sua totalidade. Nesta Avenida também tem início uma ciclofaixa que faz a ligação até à Avenida de Santa Joana, através da rotunda da Sé de Aveiro onde o ciclista tem de tomar a 2ª saída. No fim desta Avenida o ciclista deve seguir em frente para a Avenida Artur Ravara e na rotunda do Hospital Infante D. Pedro deve sair na 3ª saída em direção à Avenida da Universidade. Aqui chegado deve realizar a mudança de direção à direita no primeiro cruzamento que encontrar encontrando assim a Avenida Artur Favara que deve percorrer até ao fim, chegando assim ao destino pretendido - Reitoria da Universidade de Aveiro.



O Percurso B é um trajeto que abrange uma grande área na cidade de Aveiro. As principais razões que levaram à sua escolha devem-se especialmente a locais da cidade onde há uma elevada afluência de pessoas e de veículos motorizados durante o período escolhido para a realização dos testes. A Figura 3.22 é a origem e o destino do Percurso B. Este percurso tem início no Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro, mais concretamente na Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Aveiro. No fim desta Rua o utilizador muda de direção à esquerda para a Rua Dr. Mário Sacramento. Praticamente no fim da Rua mencionada anteriormente existe um rotunda onde o ciclista deve sair na 2<sup>a</sup> saída para a Avenida de Araújo e Silva percorrendo-a em toda a sua extensão. No fim, desta deve mudar de direção à direita para a Avenida Santa Joana que tem uma ciclofaixa ao longo da sua extensão. Na rotunda da Sé de Aveiro, deve tomar a 1<sup>a</sup> saída para à Avenida 25 de Abril perto da Escola Secundária José Estêvão muda direção à direita para Avenida de Oita onde o ciclista deve seguir em frente acabando por convergir em primeiro na Rua de São Sebastião e mais tarde na Rua Dr. Mário Sacramento. Na rotunda onde se inicia a Rua mencionada anteriormente deve sair na 2<sup>a</sup> saída e percorrendo-a em toda a sua extensão. No fim desta encontra-se uma rotunda onde o ciclista deve sair na 3<sup>a</sup> saída para a Avenida Dom Frei Miguel de Bulhões e Sousa. Mais tarde, na rotunda do Centro Comercial do Glicínias Plaza deve tomar a 2<sup>a</sup> saída para R. Dom Manuel Barbuda e Vasconcelos acabando por chegar ao seu destino.



(a) Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro [50]

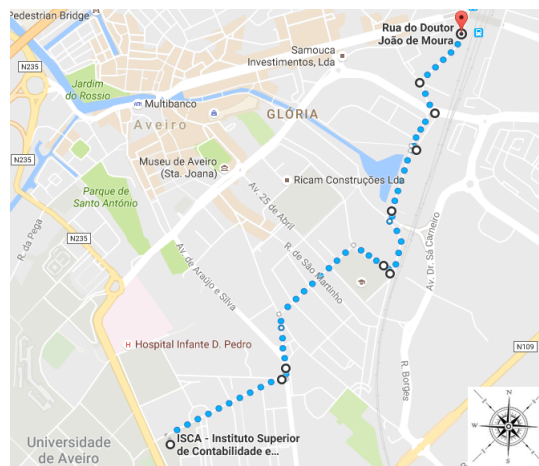


(b) Centro Comercial Glicínias Plaza-Aveiro [51]

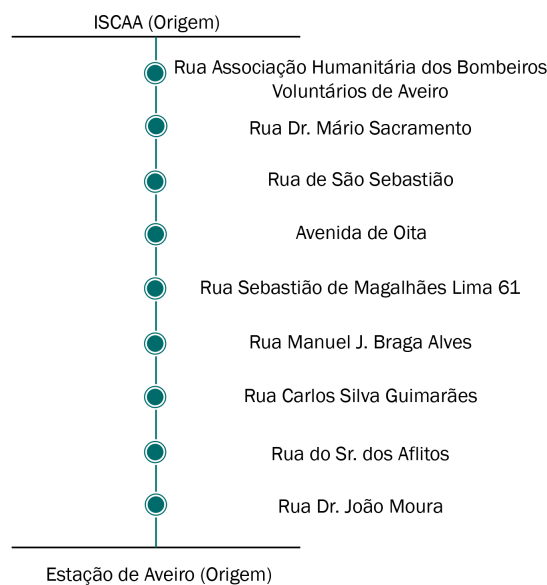
Figura 3.22: Percurso B-Partida (a) e Chegada (b)



O Percurso C tem o mesmo ponto de partida que o percurso anteriormente referido e o destino é a Estação de Aveiro. O trajeto na fase inicial é exatamente igual ao de B; no entanto, na rotunda perto do final da Rua Dr. Mário Sacramento deve sair na 1ª saída para a Rua de São Sebastião e logo a seguir para a Avenida de Oita. O ciclista percorre esta Avenida ao longo de toda a sua extensão e, chegando ao seu final, deve-se mudar de direção, à direita, para a Rua Sebastião de Magalhães Lima. No próximo cruzamento, deve mudar de direção, à esquerda, para a Rua Manuel Júlio Braga Alves. Na rotunda que se encontra no fim desta Rua deve sair na 1ª saída e seguir sempre em frente. Nas rotundas subsequentes deve tomar sempre a 2ª saída acabando por ir ao encontro da Rua do Sr. dos Aflitos. A partir deste momento deve ir em frente e, após poucos metros, entra na Rua do Dr. João de Moura estando prestes de chegar ao destino. A Figura 3.24 é o mapa e o fluxograma do itinerário descrito anteriormente.



(a)



(b)

Figura 3.24: Percurso C-(a) Mapa; (b) Fluxograma [47]

Os dados que se encontram na Tabela 3.2, representam o volume de tráfego que existe em algumas Ruas e Avenidas referidos anteriormente, podendo ter uma noção da quantidade de veículos. Esta informação foi retirada da Dissertação de Mestrado Bruno Oliveira intitulada por Análise do desempenho de um metro ligeiro na região de Aveiro [52].

Tabela 3.2: Volume de tráfego

Vias	Nº de Veículos
Avenida do Congresso Oposição Democrática	335
Rua do Comandante Rocha e Cunha e Avenida 5 de Outubro	520
Avenida Artur Ravara	765
Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Aveiro	98
Rua Dr. Mário Sacramento (em direção N 109)	596

Depois de se terem realizados alguns testes no Percurso B, ocorreram momentos em que segurança foi posta em causa. Perante este facto realizou-se uma alteração do trajeto, tendo agora como ponto de partida e de chegada o Centro Comercial Glicínias Plaza e o Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro respetivamente (sentido contrário ao pré-definido). Também foi realizado, neste mesmo percurso um estudo durante a noite, para saber qual era o efeito na distância de ultrapassagem. Estes dois casos de estudo foram feitos em sentido inverso como já foi referido anteriormente, mas para avaliação do ângulo do sensor o percurso foi realizado no sentido que estava previamente delineado.

A Tabela 3.3, é uma síntese dos percursos estudados apresentando-se as suas principais características. Para avaliar o desempenho do sensor, os Percursos A, B e C foram realizados no total de 6 vezes (3 de manhã e 3 a tarde em cada percurso ao longo dos 3 dias). Já para avaliar a distância de ultrapassagem os foram realizadas 12 vezes (4 de manhã, 4 de tarde e 4 a noite ao longo dos 4 dias).

Tabela 3.3: Características dos percursos

Percurso	Distância (km)	Nº de rotundas	Nº de cruzamentos com semáforos	Nº de cruzamentos com sinalização vertical
TP 1	0.9	1	1	1
TP 2	0.9	1	0	1
A	2.5	3	1	1
B	3.1	4	4	0
C	2.2	4	2	1

## Capítulo 4

# Resultados e Discussão

No presente capítulo encontram-se expostos todos os resultados dos testes experimentais obtidos. Apesar de o sistema ter o GPS, o acelerómetro e o sensor de distância, os resultados que foram alvo de estudo foram deste último. Os dados recolhidos serão alvo de discussão de modo a verificar se o protótipo desempenha o seu normal e correto funcionamento. Será realizada uma análise dos dados recolhidos do pré-estudo, tendo como objetivo saber qual era o ângulo de rotação do sensor para realizar os testes finais. Nos três percursos em estudo foi efetuada uma análise de cada um no sentido de fazer um balanço do desempenho do sensor, enquanto na distância de ultrapassagem é apresentada uma síntese dos valores de ultrapassagem. Nos testes realizados não foram contabilizadas medições quando se realizavam paragens devido ao congestionamento do tráfego ou devido a existência de sinais luminosos ou de cedência de passagem.

### 4.1 Resultados dos testes preliminares

Os testes preliminares serviram de base para a realização do produto final. A localização do sensor neste estudo tem um papel importante para a deteção dos veículos. A posição ideal para do sensor era a  $0^\circ$  para que fosse possível acompanhar o movimento do carro na fase de aproximação a bicicleta. Tendo executado várias testes experimentais, verificou-se que o mesmo não conseguia acompanhar o movimento do carro face ao velocípede. Em primeiro lugar utilizou-se o HC-SR04 onde permitiu verificar que quando os carros se encontrava parados tinha uma boa resposta. Quando se realizaram testes com outros veículos da via pública, grande parte deles não eram detetados. Perante esta situação foi adquirido o MB1200 XL-MaxSonar® EZ0™ que apresentou uma maior taxa de deteção; mas em relação à aproximação do veículo à bicicleta o problema não possível encontrar um solução. Nos testes iniciais verificou-se que a velocidade a que se deslocavam os veículos tinha um papel importante pois os sensores não conseguiam dar uma resposta assim tão rápida como era esperado. Outro aspeto importante: no momento em que o carro iniciava a manobra de ultrapassagem, como saía fora da gama de leitura não era efetuada a medição. Sendo assim, foi decidido estudar qual era o melhor o ângulo de rotação ou a gama de valores que oferecia melhores resultados para a deteção dos veículos, como se pode ver na Figura 4.1.



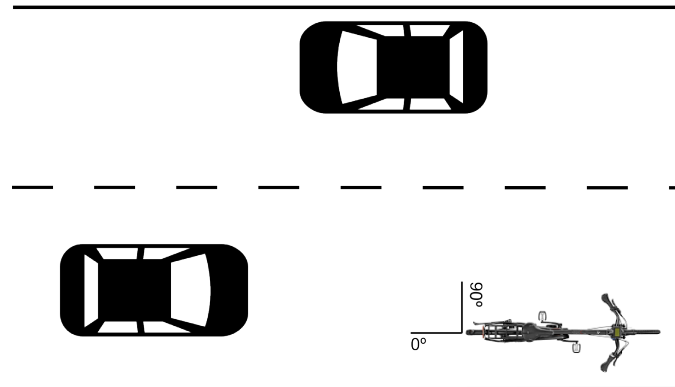


Figura 4.1: Estudo do ângulo de rotação do sensor

A primeira parte destes tipos de testes práticos foi a realização do estudo do ângulo de rotação do sensor desde os  $0^\circ$  até  $90^\circ$  com intervalos de  $10^\circ$ , com o objetivo de identificar qual era o melhor ângulo ou intervalo de valores.

A variável de estudo foi o número de carros detetados. Os resultados dos testes preliminares dos 2 percursos de pré-estudados podem ser consultados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Número de veículos detetados no ensaio entre  $0^\circ$ - $90^\circ$  (em percentagem)

Ângulo ( $^\circ$ )	Percurso	
	TP 1	TP 2
0	41%(5/12)	55%(5/9)
10	57%(8/14)	53% (7/13)
20	50%(6/12)	63%(7/11)
30	76%(13/17)	76%(10/13)
40	100%(19/19)	100%(8/8)
50	86%(13/15)	72%(8/11)
60	65%(13/20)	60%(6/10)
70	57%(8/14)	46%(6/13)
80	10%(1/10)	41%(7/17)
90	50%(6/12)	75%(9/12)

Os resultados no trajeto TP 1 e TP 2 evidenciam em regra geral que à medida a amplitude aumenta desde os  $0^\circ$  até aos  $40^\circ$  o nível de deteção também aumenta acontecendo em ordem inversa entre os  $50^\circ$ - $90^\circ$ . É possível verificar que entre os  $30^\circ$  e  $50^\circ$  a percentagem de deteção dos veículos rondou os 70% tendo-se alcançado uma maior percentagem de veículos detetados aos  $40^\circ$  tanto nos trajetos TP 1 como em TP 2. A realização do pré-estudo inicial em dois percursos foi, essencialmente, para que não sejam retiradas ilações de um estudo isolado pois podiam retirar-se conclusões pouco esclarecedoras e, sendo assim, foi possível ter outro percurso para poder comparar. Tendo identificado a gama de valores onde havia maior percentagem de veículos detetados, foi efetuada uma nova experiência com o refinamento do intervalo de amostragem para os  $20^\circ$ - $65^\circ$  com uma resolução de  $5^\circ$ . A justificação para a escolha deste intervalo teve como fundamento



o estudo efetuado anteriormente onde foi possível verificar que, a partir do limite inferior e superior do intervalo mencionado, não havia um valor significativo de detecção dos veículos. A razão para não estudar os valores que se encontram abaixo e acima destes limites foi que comparando um dos dois Percursos um deles se encontrava abaixo dos 60%. Este novo estudo levou a uma disparidade dos resultados no Percurso TP 1. Quando se realiza uma comparação entre os ângulos da para perceber não é existe nenhuma coerência de resultados como se pode verificar na Tabela 4.2. Observando em detalhe os valores do trajeto TP 1 não são concordantes quando comparado com o estudo que já se tinha realizado. Esperava-se que aos 40° houvesse um maior número detecções de veículos; no entanto, onde ocorreu um melhor desempenho foi aos 35° e 55°. O primeiro valor até tem significado pois está muito próximo dos 40°, mas já o segundo, quando comparado com os testes anteriores, encontra-se fora do intervalo que se esperava. Perante estes resultados, o Percurso TP 2 torna-se essencial para o caso de estudo. Na observação do Percurso TP 2 verifica-se um aumento progressivo do nível de detenção entre os 20° até aos 40° tendo registado neste último o melhor desempenho. Em sentido contrário, entre os 45° e 65° aconteceu um decaimento. Desta pequena análise realizada, os testes mostraram que o ângulo de 40° era o mais indicado então para efetuar os testes finais. Um argumento que levou a esta tomada de decisão foram os resultados do Percurso TP 2, pois foi neste onde ocorreu o melhor desempenho.

Tabela 4.2: Número de veículos detetados no ensaio entre 20°-65° (em percentagem)

Ângulo (°)	Percurso	
	TP 1	TP 2
20	63% (7/11)	47% (8/17)
25	63% (7/11)	72% (13/18)
30	33% (4/12)	66% (10/15)
35	71% (5/7)	76% (10/13)
40	50% (5/10)	93% (14/15)
45	54% (6/11)	90% (9/10)
50	62% (5/8)	61% (8/13)
55	71% (5/7)	66% (8/12)
60	46% (7/15)	64% (9/14)
65	45% (5/11)	58% (7/12)

## 4.2 Resultados dos percursos em estudo

Tendo por base os dados do estudo anterior, nos três percursos em análise foi utilizado o ângulo onde se obteve melhores resultados. Este estudo permitiu unicamente avaliar quantos veículos foram detetados durante o percurso em teste. A realização de experiências em meio urbano pretendeu saber qual é o desempenho do sensor com os restantes veículos da via pública. Para facilitar o estudo dos percursos vai foi realizado em primeiro lugar o estudo de cada percurso por dia e depois uma comparação entre os três trajetos. A Tabela 4.3 é um resumo dos dados recolhidos nos três onde é apresentado o grau de detecção em percentagem durante os três dias.

Tabela 4.3: Resultados do nível de detecção nos 3 percursos (em percentagem)

Percurso	28		29		30	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
A	(19/25) 76%	(21/27) 77%	(17/24) 71%	(19/26) 73%	(18/23) 78%	(25/32) 78%
B	(18/27) 66%	(39/51) 76%	(45/60) 75%	(53/65) 81%	(55/71) 77%	(47/59) 79%
C	(21/23) 91%	(20/36) 55%	(23/28) 82%	(32/37) 86%	(22/30) 73%	(22/34) 64%

O Percurso A é aquele que tem o maior número de locais destinados aos utilizadores de bicicleta. Durante os três dias em estudo o nível de detecção rondou entre os 71% e os 78%, tendo sido o período da tarde registado (73-78%) valores superiores ao da manhã (71-78%). O motivo para que no dia 30, o período da tarde tenha uma maior percentagem pode ser explicada pelo dia da semana, sexta-feira, em que se realizou o teste onde o volume de tráfego era mais compacto. No Percurso B é possível verificar que existe uma diferença entre o período da manhã (com os valores a rondar entre os 66-77%) e da tarde (76-81%). Por fim, o Percurso C é o trajeto que tem menor tráfego em comparação com os restantes. Neste, ao contrário dos Percursos A e B, foi no período da manhã que se obteve os melhores resultados, que se situaram entre 73-91%, face aos valores da tarde que variaram entre 55-86%. Comparados os três Percursos durante os três dias, o nível de detecção nos Percursos A e B esteve sempre acima de 70%, com a exceção do dia 28 que foi 66% podendo considerar que teve um bom desempenho. Já em relação ao último trajeto foi neste que se atingiu o valor mais alto (cerca de 91% e o mais baixo de 64%). Face aos valores mencionados anteriormente pode-se concluir que o sistema tem um bom desempenho, no entanto tem algumas limitações como se pode verificar pelas flutuações dos valores. Outra conclusão que foi retirada durante a realização dos testes experimentais alguns veículos não eram detetados devido à velocidade que se deslocavam ou por se deslocarem fora do campo de deteção do sensor.

Durante os testes existiram locais onde congestionamento era mais elevado: a Avenida de Santa Joana e Artur Ravarra no caso do Percurso A e no Percurso B a Avenida 25 de Abril, muito justificada pela existência da Escola Secundária José Estêvão e Dr. Mário Sacramento enquanto que no Percurso C foi no fim da Avenida de Oita (junto à Escola que foi referida anteriormente).

### 4.3 Estudo do erro dos sensores

O estudo dos erros é essencial em qualquer equipamento, pois é necessário ter noção que os equipamentos não são perfeitos. No seguimento do conceito anterior realizou-se um breve estudo sobre os erros dos equipamentos utilizados na dissertação. Na avaliação do desempenho do sensor de distância realizou-se um teste que tinha como objetivo saber qual dos dois sensores de distância tinha um menor erro. A experiência consistiu na marcação de distâncias pré-definidas no solo a cada meio metro entre 0.5 metro até aos 2 metro como se pode visualizar na Figura 4.2. Depois, foi colocado um objeto nessas distâncias e, de seguida, foi efetuada uma comparação entre a distância real e o valor lido pelo sensor.

A realização deste primeiro teste serviu de base para o teste final pois era necessário saber qual era a distância de ultrapassagem, mais propriamente dito, se o limite de me-



Figura 4.2: Estudo do erro dos sensores

tro e meio estava a ser respeitado, para que depois se pudesse realizar uma análise mais fundamentada. Cada sensor foi utilizado sempre com as mesmas condições no sentido de garantir igualdade de critérios. Tendo em conta que as medições podem ser influenciadas pela velocidade do som, as condições climatéricas como a temperatura e humidade e o tipo de superfícies podem influenciar a precisão das medições realizadas. Por isso, este tema tem vindo a ser abordado por muitos investigadores [53] [54].

Os resultados podem ser consultados na Figura 4.3 e na Tabela 4.4. Estes revelam que o HC-SR04 tem um melhor desempenho na medição de distância até aos 2 metros, enquanto que o Max Sonar tem um erro de medição logo ao meio metro de 10%, tendo aumentado até 20% aos 2 metro. Neste caso, o HC-SR04 tem um desempenho bastante melhor tendo registado apenas um erro de 2% aos dois metro. Comparando com um estudo que foi feito por outros autores o valor do erro encontra-se dentro do previsto [55]. Outro argumento que levou a posterior a tomada de opção foi os limites de funcionamento: enquanto o MaxSonar foi projetado para medir distância maiores, o HC-SR04 foi concebido para funcionar numa gama mais reduzida. Analisando a ficha técnica, constata-se que este último tem uma precisão de 1 mm, enquanto o Max Sonar tem uma resolução de 1 cm. Perante a recolha de informação, a escolha recaiu no HC-SR04 para avaliar a distância de ultrapassagem entre os veículos que circulam na via pública face à bicicleta.

Tabela 4.4: Estudo do erro

Distância (m)	MaxSonar-MB1200		HC-SR04	
	Valor medido	Erro (%)	Valor medido	Erro (%)
0.5	0.60	10	0.50	-
1.0	1.11	11	1.00	-
1.5	1.67	17	1.50	-
2.0	1.80	20	1.98	2

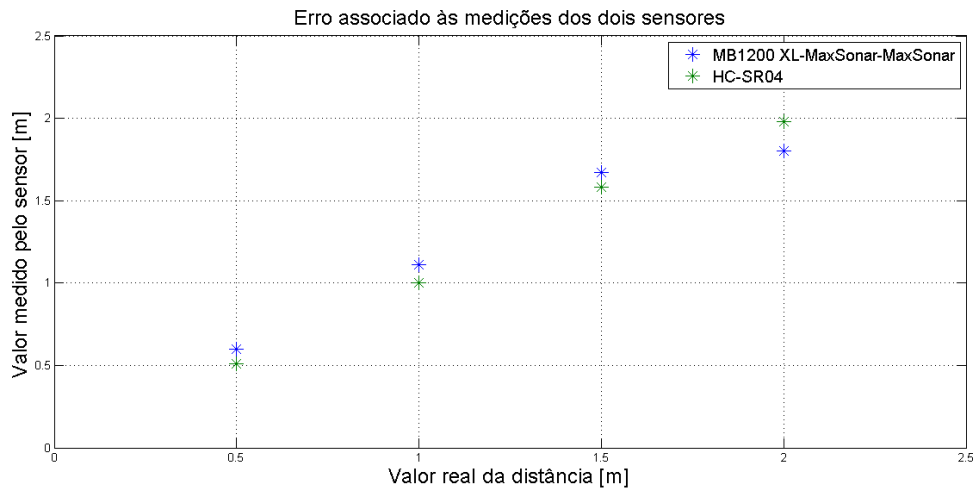


Figura 4.3: Erro dos sensores

Em relação ao *GPS* as principais falhas podem ser devido aos seguintes causas [56] :

- Decaimento da força do sinal à medida que atravessa a atmosfera Terrestre;
- Reflexão do sinal até chegar ao recetor devido à existência de obstáculos de grandes dimensões;
- Número de satélites que o recetor *GPS* consegue ter no seu campo de "visão", onde a existência de edifícios e ruído eletromagnético, entre outros, podem impedir a receção do sinal;
- Erro do relógio do recetor *GPS* e
- Erros de órbita dos satélites, entre outros.

Em relação aos dados provenientes do acelerómetro não foi possível obter nenhuma informação acerca das suas possíveis falhas/erros. Uma opção válida para o estudo do desvio das medições era a comparação dos dados obtidos do MPU-6050 com um equipamento que disponha das mesmas funcionalidades. No entanto, em relação ao valor da temperatura que também é disponibilizado por este equipamento, verificou-se que este valor se encontrava sempre acima (entre 3 a 5°C) quando comparado com o sensor que fora projetado só para o efeito.

#### 4.4 Avaliação da distância de ultrapassagem

O desenvolvimento deste protótipo permitiu também saber qual era o valor da distância que os veículos deixavam para realizar a manobra de ultrapassagem. Na avaliação deste parâmetro foram utilizados os trajetos que se encontram descritos no subcapítulo 3.3.2. Cada um deles contém 2 ensaios, com exceção do Percurso B que tem mais um teste no período noturno. A principal razão da análise de dois casos por trajeto é para verificar se há algum ponto do itinerário/rota que se evidenciasse face aos restantes. Dos dois ensaios realizados apenas será analisado em detalhadamente o que tem valores da distância de

ultrapassagem mais baixos. Para uma melhor abordagem de cada percurso, estes foram divididos em fragmentos onde o fim de um troço é o início do outro. A razão que levou a escolhas dos valores da distância de ultrapassagem<sup>1</sup> foi devido a dois aspetos. Um deles foi, como se refere no capítulo 2, que havia veículos que passavam a uma distância inferior a um metro, querendo assim verificar se neste estudo também se sucedia; o outro era verificar se as pessoas deixavam um metro e meio de distância tal como se encontra no Código da Estrada.

O Percurso A é um dos mais importantes itinerários para quem realiza a viagem entre a Estação Ferroviária e a Universidade de Aveiro utilizando a bicicleta, pois grande parte deste possui vias dedicadas para os velocípedes. Este trajeto foi dividido em 5 partes: a primeira tem como ponto de partida o início do percurso e o fim na Avenida Congresso Oposição Democrática; a segunda acaba no local onde começa a ciclofaixa da Avenida 5 de Outubro; a terceira cessa no fim da Avenida de Santa Joana; a quarta acaba na Avenida Artur Ravara e a última acaba no destino do percurso. Esta divisão é justificada essencialmente pela presença das ciclofaixas, pretendendo-se verificar qual era a diferença entre estas e as vias partilhadas. Os resultados revelaram que a maioria dos condutores não deixam a distância de ultrapassagem e por vezes até chega a ser menor que 1 metro. Os resultados dos dois ensaios podem ser consultados na Tabela 4.5. Para o posterior estudo foi selecionado o Ensaio 2, pois este apresenta valores mais baixos da distância de ultrapassagem e ainda é dos dois ensaio que apresenta uma amostra maior. Pode-se verificar que houve cerca de 16 condutores que passaram a uma distância entre 1-1.5 metro e um caso que foi inferior a um metro.

Tabela 4.5: Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso A

Distância (m)	Percurso A	
	Ensaio 1	Ensaio 2
$\leq 1$	0	1
1-1.5	11	16
$\geq 1.5$	11	10
Nº de carros não detetados	3	19

A Tabela 4.6 é um resumo das distâncias que se obteve em cada segmento definido anteriormente. Os resultados revelaram que quase não existe diferença significativa entre as ciclofaixas e as vias partilhadas. Analisando em primeiro lugar os troços 1 e 3 destinados para utilizadores da bicicleta verificou-se que o valor mais baixo foi 1.1 m, tendo sido efetuado por um veículo pesado. Em relação ao troço número 3 os valores foram praticamente idênticos. Em vias onde existe partilha da mesma via de trânsito, (segmento 2, 4, 5) os valores não foram muito diferentes, com a exceção do último, tendo atingindo 0.8 m na Avenida da Universidade.

No troço número 4, houve um grande número de ultrapassagens que rondaram 1.2 m, onde a natureza do pavimento que se encontra no local tem um papel fundamental. Na última parte deste trajeto foi onde se atingiu o menor valor da distância, tendo sido realizado pelo veículo ligeiro. Comparando os dois ensaios, o número de condutores que efetuaram a manobra de ultrapassagem entre 1-1.5 m e maior ou igual a este último são

<sup>1</sup>Quando aparecer no texto aparecer distância o autor refere-se à distância de ultrapassagem

muitos similares entre si; porém, convém realçar que o número de veículos do estudo é bastante diferente.

Tabela 4.6: Tabela resumo da distância do Ensaio 2-Percurso A

Ensaio	Segmento				
	1	2	3	4	5
2	1.1-1.7	1.2-1.7	1.2-1.8	1.2-1.9	0.8-1.9

Em síntese deste percurso, consta-se que ainda há um grande número de condutores que não respeitam o valor que se encontra definido por Lei. Comparando os valores obtidos nas ciclofaixas e nas vias partilhadas, conclui-se que os valores se encontram muito próximos, permitindo-nos afirmar que muitas das vezes os condutores não respeitam estes mesmos locais. Foi também possível verificar que ainda há condutores que passam demasiado perto dos velocípedes tal como se encontra na bibliografia do presente documento. A Figura 4.4 é uma representação dos valores da distância em função do tempo podendo visualizar em que instante aconteceram as ultrapassagens e quais se encontram acima e abaixo de valor de 1.5 metro.

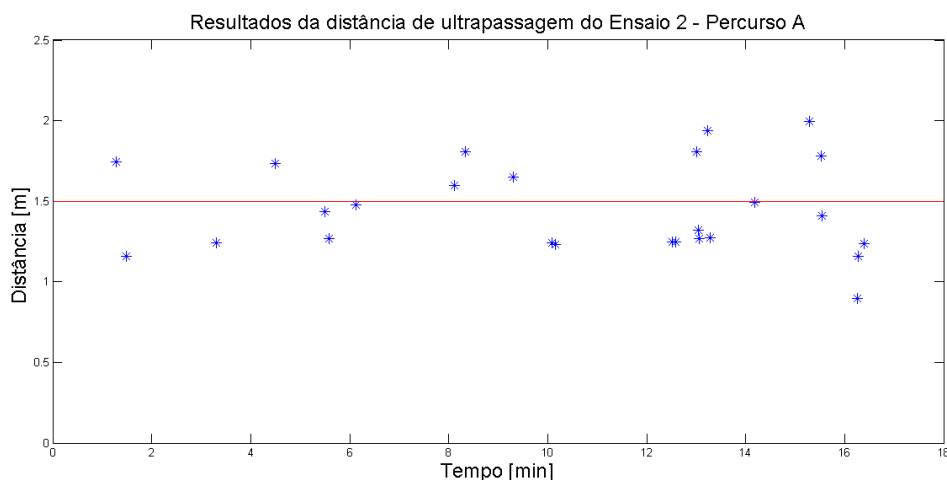


Figura 4.4: Valor da distância em função do tempo Ensaio 2-Percurso A

O estudo do Percurso B é dos três onde há uma maior interação entre o velocípede e os restantes condutores. Segundo a mesma lógica de pensamento de trabalho do percurso anterior, este foi dividido em quatro para partes: a primeira com o início no ponto de partida do trajeto e acabando no fim da Rua Dr. Mário Sacramento; o segundo segmento acaba no fim da Avenida 25 de Abril; o terceiro contempla uma parte da ciclofaixa da Avenida de Santa Joana e o último troço e até ao destino. A razão para que o primeiro fragmento acabe na Rua que já foi referida anteriormente é porque existe um número significativo de estudantes a residir nesta zona no período de aulas. O segundo é por nele se situar a Escola José Estêvão e o terceiro é devido a ciclofaixa e o último troço é o resto que falta para acabar o itinerário. Em primeiro lugar vai ser realizado o estudo do ensaio durante a tarde e depois o estudo durante o período da noite. Os valores obtidos nos Ensaios 3 e 4 permitem-nos constatar que há uma diferença clara no Percurso A.

A principal razão desta diferença é explicada pela quantidade de tráfego que existe na Rua Dr. Mário Sacramento e na Avenida 25 de Abril no período em que foram realizados os testes, sendo este motivo válido para explicar o tamanho da amostra do Ensaio 3 e 4. O motivo para que o tamanho da amostra no Ensaio 4 seja maior que a do Ensaio 3, é devido ao período da semana já que este último foi feito numa quarta-feira e o outro foi na sexta-feira. A hora entre os dois ensaios é aproximadamente igual. Os resultados deste trajeto podem ser consultados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resultados da ultrapassagem no Percurso B

Distância (m)	Percurso B		
	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
$\leq 1$	4	8	1
1-1.5	39	49	11
$\geq 1.5$	20	28	9
Nº de carros não detetados	11	20	14

Nos dois ensaios verificou-se que a maioria dos condutores não respeita o valor de um metro e meio, pois a maioria da ultrapassagens rondou o valor entre 1-1.5 metro, 39 para o Ensaio 3 e 49 para o Ensaio 4 e tendo sido neste que o houve uma maior número de condutores que passaram a uma distância inferior a 1 metro. Para o estudo mais detalhado do percurso foi selecionado o Ensaio 4, pelo tamanho da amostra e pela natureza dos valores. Para efetuar a análise dos dados do percurso, foi criada a Tabela 4.8 com vista à realização de um estudo mais detalhado de cada troço.

Tabela 4.8: Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso B

Ensaio	Segmento			
	1	2	3	4
4	0.7-1.9	0.9-1.9	0.9-1.3	1.2-2.3
5	1.0-1.7	1.1-2.3	- <sup>a</sup>	0.8-1.9

<sup>a</sup> Não foi realizada nenhuma ultrapassagem

Dos segmentos em análise foi no primeiro onde se registou um maior número de ultrapassagens inferior a 1 metro cerca de (4 no início do troço e as restantes no fim do segmento). Foi no final deste troço que se registou o valor mais baixo de todos (0.7 m). Os restantes valores foram obtidos perto da Escola Secundária José Estêvão e na ciclofaixa. Todas as ultrapassagens inferiores a 1 metro foi feitas pelos veículos ligeiros. Também foi possível verificar que os valores da distância em locais no fragmento 3, destinados para o ciclista, não é muito diferente dos restantes fragmentos. Analisando cada fragmento tanto no troço 1 e 2 o número de ultrapassagens entre 1-1.5 m foi em ambos 24. Já em distância superiores a 1.5 m foi registado um maior número cerca de 14 no troço 1. Mais uma vez pode-se concluir que a diferença das distâncias entre as vias partilhadas e os locais destinados para os ciclistas é muito semelhante.

O Ensaio 5, é o estudo que decorreu durante o período noturno (19:30 h-20:00 h). A divisão dos segmentos foi a mesma. Convém referir que neste ensaio não houve nenhum

veículo no troço 3. Na Tabela 4.7 são apresentados os valores da distância de ultrapassagem, podendo concluir que a maior parte das ultrapassagens foi feitas com uma distância entre 1-1.5 m e houve um momento em que essa distância foi inferior a 1 metro. Para facilitar a discussão dos resultados recorre-se novamente à Tabela 4.8. Comparando os percursos referidos, foi no troço 2 onde ocorreu um maior número de ultrapassagens (cerca de 7 entre 1-1.5 metro e 4 ultrapassagens com valor superior a 1.5 m). O valor mais baixo registado no ensaio foi 0.8 m na Avenida Araújo e Silva, tendo sido realizado pelo veículo ligeiro. Comparando os dois ensaios, foi no fragmento 1 e 2 do Ensaio 4 que se obtiveram os valores mais baixos da distância. Este facto pode ser explicado pela elevada quantidade de tráfego que ocorre durante o período que foi realizado o teste. No troço 3 não é possível retirar qualquer conclusão devido a falta de dados, pois não foi realizada nenhuma ultrapassagem, pois seria deveras interessante verificar se o período do dia tem alguma influência. No último troço do Ensaio 5 foi onde houve o menor valor da distância de ultrapassagem. Este valor pode ser explicado muito provavelmente pela falta de iluminação do velocípede e do local. As deduções que se podem retirar destes itinerários são muito semelhantes ao do percurso anterior. A maioria das ultrapassagens ocorre a uma distância entre 1-1.5 metro, encontrando-se abaixo do valor que se encontra no código da estrada. Em alguns casos, estes valores tendem a ser menores. Na Rua onde ocorreram estes valores havia muito tráfego, podendo concluir que quanto maior é o tráfego menor é a distância, pois os veículos que realizam a ultrapassagem não deixam distância devido às circunstâncias de tráfego. Tal como era de esperar ocorreram mais ultrapassagens durante os Ensaios 3 e 4 quando comparado com o Ensaio 5, este valor pode ser justificado pela hora que decorreu o teste pois há uma diferença significativa no número de veículos. Um parâmetro que convém equacionar é o valor do número de carros que foram detetados face aqueles que o sensor não conseguiu detetar. A dimensão da amostra tem de ser tida em conta. Apesar de no Ensaio 3 e 4 este valor ser bastante elevado, o mesmo não se pode concluir do Ensaio 5, pois o número de carros que não foram detetados é bastante elevado tendo em conta o número de veículos que realizaram as ultrapassagens durante o teste. A Figura 4.5 representa os valores de ultrapassagens ao longo do trajeto.

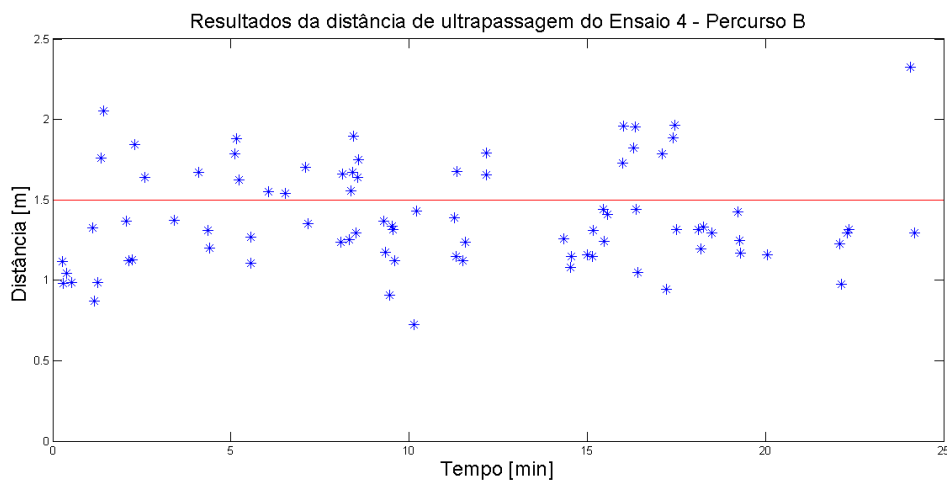


Figura 4.5: Valor da distância em função do tempo Ensaio 4-Percurso B



O Percurso C é uma alternativa para quem faz a viagem entre a Universidade e a Estação. No mesmo seguimento de análise dos estudos anteriores, o Percurso C foi seccionado em três segmentos. O primeiro tem como ponto de partida o início do percurso e termina no fim da Rua Dr. Mário Sacramento; o segundo na Rua Sebastião de Magalhães Lima 61 e o último no destino do trajeto. Este trajeto é o único que é sempre feito em vias partilhadas em toda a sua totalidade, ao contrário do Percurso A e B. A razão da tal divisão é que, o fim do primeiro, é um local onde há um grande número de estudantes a residir. Já o segundo troço abrange especialmente a Escola Dr. Mário Sacramento e o último troço é o remanescente do trajeto. Para o estudo da manobra de ultrapassagem neste percurso optou-se pela seleção do Ensaio 6. A justificação desta escolha é que por duas vezes os condutores passaram a uma distância inferior a um metro e cerca de 20 veículos que ultrapassaram com uma distância superior ao valor que é estipulado por Lei apesar da dimensão da amostra. Também foi neste ensaio que houve menos ultrapassagens (cerca de 9 entre 1-1.5 metros face aos 21 do Ensaio 7). Os dados provenientes deste trajeto podem ser consultados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Resumo da distância de ultrapassagem-Percurso C

Distância (m)	Percurso C	
	Ensaio 6	Ensaio 7
$\leq 1$	2	0
1-1.5	9	21
$\geq 1.5$	20	13
Nº de carros não detetados	3	19

Para auxiliar a discussão dos resultados deste percurso foi criada a Tabela 4.10. Dos três segmentos em causa, foi o número 1 onde ocorreu o menor valor da distância (cerca de 0.83 m enquanto que no troço 2 foi de 0.93 m). Os locais onde ocorreram estas situações foram no fim da Rua Dr. Mário Sacramento e início da Avenida de Oita. No troço 2 e 3 foi onde ocorreram mais ultrapassagens entre 1-1.5 m, mais precisamente 4 em ambas. A parte do trajeto onde ocorreram mais ultrapassagens com valor superior a 1.5 metro foi no primeiro com cerca de 11 e nas restantes foi 6 e 3 para o segmento 2 e 3 respetivamente. O principal motivo para que no troço 1 e 2 haja maior número de ultrapassagens é que o tráfego nestes é muito superior ao do terceiro.

Tabela 4.10: Resumo da distância de ultrapassagem Ensaio 6-Percurso C

Ensaio	Segmento		
	1	2	3
6	0.8-2.1	0.93-2.2	1.3-2.3

As conclusões que se podem retirar são semelhantes aos dos dois itinerários já estudados, pois ocorreram novamente situações em que a distância foi inferior a 1 metro. Comparando os dois testes, é no Ensaio 6 que se alcançou em simultâneo os melhores e os piores resultados para distância. Porém, o tamanho da amostra quando comparado com o Ensaio 7 é bastante menor, podendo-se retirar conclusões erradas. A Figura 4.6 é

uma representação dos valores que se encontram acima e abaixo do valor que se encontra definido na Legislação.

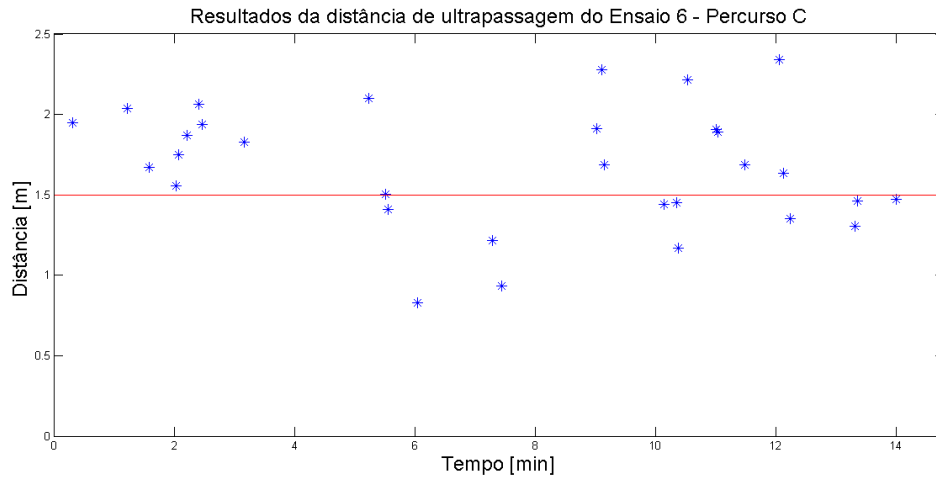


Figura 4.6: Valor da distância em função do tempo Ensaio 6-Percurso C

#### 4.4.1 Estudo do desempenho

Com o objetivo de avaliar qual o nível de desempenho do sensor, foi realizado um estudo do erro associado em cada percurso e ensaio. Para realizar este estudo a câmara teve um papel importante, pois permitiu saber em que instante passou o veículo e assim com os valores registados no ficheiro do trajeto. A Tabela 4.11, é um resumo do erro associado a cada percurso onde o valor mais baixo é de 8.8% e o mais alto de 35.9%. No Percurso B o valor do erro nos dois ensaios foi completamente diferente dos restantes. A justificação para que nestes dois ensaios o valor tenha pouca discrepância deve-se principalmente a um maior nível de veículos detetados fase ao número total de veículos que realizaram a ultrapassagem. Em ambos os ensaios verificou-se que os carros se deslocava a uma velocidade mais baixa devido ao forte congestionamento que por sua vez originou uma maior quantidade de valores recolhidos. Apesar da dimensão da amostra e do valor do erro, os valores que são aqui apresentados permitem retirar algumas deduções acerca da distância que é realizada a manobra de ultrapassagem.

Tabela 4.11: Estudo do erro nos percursos em estudo

	Percurso A		Percurso B			Percurso C	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7
Erro (%)	12.0	32.5	14.8	19.0	40.0	8.8	35.9

Alguns fatores externos ao sensor podem ter influenciado o seu desempenho, citando a título de exemplo:

- A temperatura do meio ambiente que afeta a velocidade do som [54] e [57];
- Atenuação da onda, à medida que se propaga através do material (a frequência da onda vai diminuído) [58];

- A natureza das superfícies afeta a reflexão da onda [59].

## 4.5 Conflitos detetados durante os testes experimentais

Durante o período que se realizaram os testes experimentais, houve conflitos entre o ciclista e os restantes veículos originado a mudança de trajetória. No Percurso A, os principais obstáculos foram os veículos que se encontravam estacionados na Avenida Santa Joana, mais propriamente na ciclofaixa e na Avenida Artur Ravara como se pode visualizar nas Figuras 4.7 e 4.8.



Figura 4.7: Estacionamento na ciclofaixa - Avenida Santa Joana-Percurso A



Figura 4.8: Estacionamento Avenida Artur Ravara-Percurso A

No Percurso B os principais impedimentos durante a realização das experiências foram os veículos que se encontravam estacionados perto Escola Secundária José Estêvão e na ciclofaixa referida anteriormente com se pode observa na Figura 4.9 e 4.7.

Em relação ao Percurso C as principais objeções que impediram a progressão foram os veículos que se encontravam estacionados no final da Avenida de Oita junto a Escola Dr. Mário Sacramento e na Rua Manuel J.Braga Alves. (ver Figura 4.10 e 4.11).



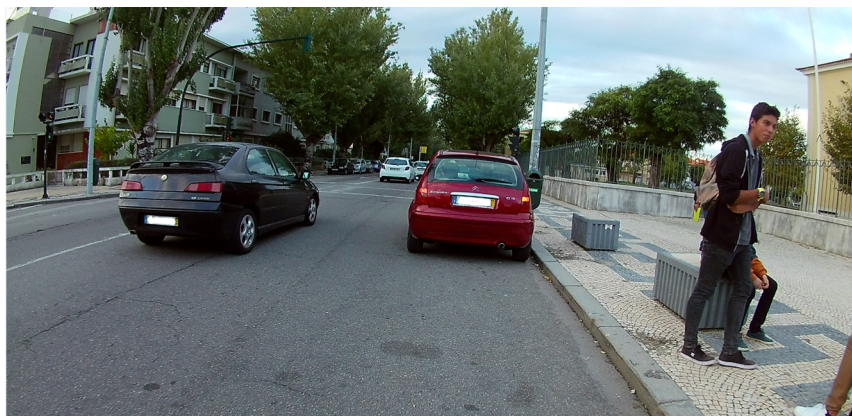


Figura 4.9: Estacionamento Avenida 25 de Abril-Percurso B



Figura 4.10: Estacionamento junto da Escola Dr. Mário Sacramento-Percurso C



Figura 4.11: Estacionamento na Rua Manuel J.Braga Alves-Percurso C

## Capítulo 5

# Conclusão e sugestão de trabalhos futuros

### 5.1 Conclusões

A dissertação aqui apresentada baseou-se especialmente no desenvolvimento de uma solução que permita avisar os velocípedes aquando da aproximação de veículos. Esta solução também possui um acelerómetro e um *GPS*. O grande foco deste projeto, era conceber um produto robusto e de baixo custo. Para chegar a um protótipo funcional foi necessário passar por duas grandes etapas. A primeira foi a conceção de um produto que abrange a criação do módulo para colocar na bicicleta e a realização da posterior aplicação de telemóvel. A segunda foi a realização de testes experimentais em meio urbano com os restantes veículos da via pública para saber se tinha o desempenho pretendido. Para o desenvolvimento da *app* foi necessário realizar, em primeiro lugar, um estudo prévio, para saber qual seria o melhor *software* para a realização da *app*.

A utilização do *Android Studio*, acabou por ser uma boa escolha pois devido à quantidade de informação que se encontra disponível pelo fabricante permitiu desenvolver uma aplicação modular onde é possível ir sempre acrescentando funcionalidades à medida que vão ser acrescentados mais equipamentos na bicicleta. A escolha do sensor distância foi um dos pontos mais importantes deste trabalho. O primeiro sensor selecionado (HC-SR04), permitiu verificar, ao fim de vários testes dinâmicos e estáticos, que não era o ideal para o trabalho em causa, pois o seu intervalo de funcionamento era muito reduzido. Tal facto levou a equacionar que provavelmente os veículos começavam a realizar a ultrapassagem a uma distância superior ao limite máximo do sensor e era por isso que muitas das vezes os veículos não eram detetados. Perante este facto foi realizada uma nova pesquisa e verificou-se que a aquisição do MB1200 XL-MaxSonar® EZ0™ podia ser uma boa solução por ter um maior intervalo de trabalho.

Entretanto, as várias experiências efetuadas com este novo sensor revelaram que o nível de deteção aumentou. No entanto, havia momentos em que isto não acontecia e daqueles que detetava não era possível acompanhar o movimento de aproximação dos veículos até à bicicleta. Nos ensaios verificou-se, claramente, que a velocidade do veículo tem um papel importante (as falhas na deteção ocorreram principalmente quando há um menor volume de tráfego). No sentido de conseguir resolver o problema de deteção foram feitos testes em dois percursos preliminares (TP 1 e TP 2), numa primeira fase

entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$  com uma amplitude de  $10^\circ$ . Os resultados revelaram que havia uma gama de valores entre os  $30^\circ$  e  $50^\circ$  em que se havia melhores resultados. Perante os valores referidos anteriormente foi feito um novo estudo nos mesmos percursos, tendo-se neste reduzindo o intervalo entre os  $20^\circ$ - $65^\circ$  com uma resolução de  $5^\circ$ . Este estudo permitiu concluir que o melhor ângulo era  $40^\circ$ . Foi utilizado este valor para realizar os testes finais nos Percurso A, B e C, levando a concluir que houve um número de veículos que não eram detetados. Durante os dias que decorreram os testes o desempenho da solução rondou em média 75%. Tendo sido no Percurso C, onde se obteve o valor mais alto e mais baixa deteção 91% e 64% respetivamente.

Para a avaliação da distância de ultrapassagem foi feito um teste preliminar entre os dois sensores acabados de referir. Pretendeu-se saber qual deles tinha um menor desvio, levando a concluir que HC-SR04 tem um menor erro e é apenas 2% aos dois metros, enquanto no outro sensor o erro é de 20%, tendo sido escolhido o primeiro para saber qual era a distância de ultrapassagem. Os dados recolhidos nos três percursos em estudo revelaram que a maioria das ultrapassagens rondaram entre 1-1.5 metros e em alguns casos tendo sido mesmo inferior a 1 metro. O percurso onde se registaram mais ultrapassagens foi no Percurso B, o que seria de esperar devido à quantidade de tráfego que existe neste trajeto. Foi neste percurso, mais concretamente ao longo da Rua Dr. Mário Sacramento que se registaram os valores mais baixos de ultrapassagem (4) e cerca de 28 condutores realizaram esta manobra com uma distância superior ou igual a 1.5 metro. Comparando os valores obtidos no Percurso A, sendo este realizado grande parte por ciclofaixas, os valores das distâncias não são muito diferentes dos locais onde há partilha da mesma via tendo até sido atingido o valor 0.8 metro. Os resultados do Percurso C vieram reforçar que o local mais crítico do estudo é o final da Rua Dr. Mário Sacramento, pois foi neste lugar onde se registaram o maior número de ultrapassagens inferiores a 1 metro. No teste realizado durante a noite, no Percurso B, as ilaões que se podem retirar é que, mais uma vez, a maioria das ultrapassagens ocorrem entre 1-1.5 metro.

Em relação aos erros que se obtiveram durante os ensaios pode-se concluir que o volume de tráfego tem um papel importante. Devido à sua densidade de tráfego, o Percurso B teve os melhores resultados nos dois ensaios, enquanto que nos outros ensaios o valor sofreu grandes flutuações. Dos três itinerários em estudo o Percurso C, é o mais seguro para realizar a viagem de bicicleta podendo ser justificado mais uma vez pelo reduzido volume de tráfego quando comparando com os restantes. A segunda etapa do projeto iniciou-se no momento que se começou a realizar os testes com o primeiro sensor até aos testes da distância de ultrapassagem. O desenvolvimento deste tipo de soluções e de estudos são cada vez mais importantes, pois permite melhorar a segurança não só dos ciclistas, mas de todos que circulam na estrada, podendo assim ajudar a combater a sinistralidade rodoviária. Durante os testes experimentais ocorreram algumas dificuldades pois há inúmeros fatores que o utilizador não pode controlar nem mesmo prevenir, como por exemplo o tráfego e as condições climáticas. Por se tratar de um protótipo houve muitas variáveis que que podiam afetar o desempenho e que por isso requerem a realização de mais estudos/testes práticos.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Tendo-se realizado uma grande quantidade de trabalho durante esta dissertação ainda há um longo percurso a percorrer para poder concretizar uma solução mais viável ou até quem sabe um dia possa ser um produto comercializado. As ideias que se encontram abaixo são algumas sugestões que foram surgindo durante a realização deste trabalho e seria deveras interessante a realização de grande parte delas.

- Analisar outras alternativas como a utilização de outros sistemas, como por exemplo a utilizar um sensor laser.
- Continuar a desenvolver a aplicação de telemóvel onde o utilizador possa adicionar mais funcionalidades.
- Criação de uma página WEB com o perfil do utilizador, onde a pessoa possa aceder de modo direto aos dados recolhidos durante a viagem.
- Verificar se a utilização do capacete, tem alguma influência na distância de ultrapassagem.
- Realizar experiências noutros percursos, rurais ou urbanos, em diferentes períodos do dia, com mais do que um utilizador.
- Fazer testes onde os veículos se deslocam a uma velocidade maior do que em áreas urbanas.
- Realizar testes com outras condições climáticas.
- Desenvolver um acondicionamento de forma a que o sistema possa estar exposto às mais diversas condições climáticas.
- Implementar um módulo para que o utilizador possa utilizar durante a noite.
- Desenvolver um sistema mais compacto para que seja possível a sua utilização em qualquer tipo de bicicleta.
- Desenvolver um sistema que consiga monitorizar todos os utilizadores deste produto para que, em caso da ocorrência de algum incidente, possa ser emitido um alerta para a base de dados e deste modo avisar as autoridades de emergência médica com as coordenadas onde ocorreu o acidente e com os dados pessoais do utilizador.
- Comparar os resultados com um equipamento que se encontra implementado no mercado.
- Armazenar os dados recolhidos numa base de dados, para que futuramente seja possível construir um modelo da cidade.
- Realizar experiências com mais ciclistas para verificar se aplicação desenvolvida origina desatenção.
- Futura instalação do sistema BiSUA, nas bicicletas do projeto U-Bike e nas bicicletas do sistema de partilha da cidade de Aveiro (BUGA).





# Referências Bibliográficas

- [1] Comissão das Comunidades Europeias, “LIVRO VERDE - Por uma nova cultura de mobilidade urbana,” Relatório, 2007.
- [2] Comissão Europeia, “Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro,” Direcção-Geral Do Ambiente, Bruxelas, Relatório, 2000.
- [3] S. Handy, B. van Wee, e M. Kroesen, “Promoting Cycling for Transport: Research Needs and Challenges,” *Transport Reviews*, vol. 34, nº 1, pp. 4–24, 2014. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2013.860204>
- [4] P. Marketa, “Cycling mobility in the EU,” Relatório May, 2015.
- [5] European Cyclists Federation, “ECF-Cycling Barometer 2015,” Relatório, 2015.
- [6] Directorate-General for Mobility and Transport, “Special Eurobarometer 422a- Quality of Transport,” Bruxelas, Relatório October, 2014.
- [7] Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT), “Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves,” Relatório, 2012.
- [8] Instituto Nacional de Estatística (INE), “Censos 2011 Resultados Definitivos- Portugal,” Relatório, 2011.
- [9] Luís Caetano, “Fatores determinantes para a utilização da bicicleta enquanto meio de transportado quotidiano em Portugal,” 2015. Disponível em: <http://www.w2g.pt/2015/03/determinantes-utilizacao-bicicleta-320/> (Consultado a: 2016-02-29).
- [10] Ec/Eu, “Sustainable Urban Transport Plans,” Relatório September, 2007.
- [11] Confederation of the European Bicycle Industry (CONEBI), “European Bicycle Market, 2015 edition,” Bruxelas, Relatório, 2014.
- [12] Green Savers, “Portugal já é o terceiro maior produtor de bicicletas da Europa,” 2015. Disponível em: <http://greensavers.sapo.pt/2015/08/10/portugal-ja-e-o-terceiro-maior-produtor-de-bicicletas-da-europa/> (Consultado a: 2016-02-29).
- [13] European Transport Safety Council, “Making Walking and Cycling on Europe’s Roads Safer,” Relatório June, 2015.
- [14] European Commission, “Traffic Safety Basic Facts on Cyclists,” European Commission, Directorate General for Transport, Relatório, 2015.

- [15] W. J. Curnow, "The Cochrane Collaboration and bicycle helmets," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, n<sup>o</sup> 3, pp. 569–573, 2005.
- [16] Autoridade Nacional Segurança Rodoviária (ANSR), "Sinistralidade Rodoviária- Ano de 2015," Relatório, 2015.
- [17] K. H. Chuang, C. C. Hsu, C. H. Lai, J. L. Doong, e M. C. Jeng, "The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 56, pp. 32–41, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.029>
- [18] C. Llorca, A. Angel-Domenech, F. Agustin-Gomez, e A. Garcia, "Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: Analysis on speed and lateral clearance," *Safety Science*, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753515002921>
- [19] J. Parkin e C. Meyers, "The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42, n<sup>o</sup> 1, pp. 159–165, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457509001997>
- [20] I. Walker, "Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, n<sup>o</sup> 2, pp. 417–425, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457506001540>
- [21] J. R. Chapman e D. A. Noyce, "Observations of Driver Behavior During Overtaking of Bicycles on Rural Roads," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2321, n<sup>o</sup>2321, pp. 38–45, 2012. Disponível em: <http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2321-06>
- [22] M. Dozza e A. Fernandez, "Understanding bicycle dynamics and cyclist behavior from naturalistic field data," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, n<sup>o</sup> 1, pp. 376–384, 2014. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6595621>
- [23] F. Zhao, H. Guo, W. Wang, e X. Jiang, "Modeling lateral interferences between motor vehicles and non-motor vehicles: A survival analysis based approach," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2015.07.005>
- [24] M. Dozza, R. Schindler, G. Bianchi-Piccinini, e J. Karlsson, "How do drivers overtake cyclists?" *Accident Analysis and Prevention*, vol. 88, pp. 29–36, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.008>
- [25] D. Lee e M. Hahn, "Bicycle Safety Map System Based on Smartphone Aided Sensor Network," vol. 42, pp. 38–43, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14257/astl.2013.42.09>
- [26] P. Baptista, A. Pina, G. Duarte, C. Rolim, G. Pereira, C. Silva, e T. Farias, "From on-road trial evaluation of electric and conventional bicycles to comparison

- with other urban transport modes: Case study in the city of Lisbon, Portugal,” *Energy Conversion and Management*, vol. 92, pp. 10–18, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414010826>
- [27] J. Guimarães, “A bicicleta como plataforma laboratorial,” Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2015.
- [28] “Volvo Car Group reveals world-first Cyclist Detection with full auto brake in Geneva,” 2013. Disponível em: <https://www.media.volvocars.com/ca/fr-ca/media/pressreleases/48219> (Consultado a: 2016-03-08).
- [29] “Volvo Cars and POC to demonstrate life-saving wearable cycling tech concept at International CES 2015,” 2014. Disponível em: <https://www.media.volvocars.com/us/en-us/media/pressreleases/155565/volvo-cars-and-poc-to-demonstrate-life-saving-wearable-cycling-tech-concept-at-international-ces-2015> (Consultado a: 2016-03-08).
- [30] The Cilista, “Valour Bicicleta inteligente avisa quando os carros estão próximos demais !” 2015. Disponível em: <http://www.theciclista.com/2015/06/26/valour-bicicleta-inteligente-avisa-quando-os-carros-estao-proximos-demais/> (Consultado a: 2016-03-18).
- [31] “Vanhawks.” Disponível em: <https://www.vanhawks.com/> (Consultado a: 2016-03-18).
- [32] “Lanesight.” Disponível em: <http://www.lanesight.com/> (Consultado a: 2016-03-19).
- [33] Garmin, “Varia Rearview Radar.” Disponível em: <https://buy.garmin.com/en-US/US/into-sports/cycling/varia-rearview-radar/prod518151.html> (Consultado a: 2016-03-06).
- [34] “Byxee - pedala più sicuro.” Disponível em: <http://www.byxee.com/> (Consultado a: 2016-03-08).
- [35] InvenSense, “MPU-6050|InvenSense.” Disponível em: <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/> (Consultado a: 2016-06-27).
- [36] Itead Studio, “HC-05-Bluetooth to Serial Port Module.” Disponível em: [ftp://imall.iteadstudio.com/IM120417010{\\_\\_}BT{\\_\\_}Shield{\\_\\_}v2.2/DS{\\_\\_}BluetoothHC05.pdf](ftp://imall.iteadstudio.com/IM120417010{__}BT{__}Shield{__}v2.2/DS{__}BluetoothHC05.pdf) (Consultado a: 2016-03-23).
- [37] “Arduino-ArduinoBoardUno.” Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (Consultado a: 2016-03-23).
- [38] Ublox, “NEO-M8N ublox GNSS module: Data Sheet,” pp. 1–27, 2016.
- [39] ElecFreaks, “Ultrasonic Ranging Module HC - SR04.” Disponível em: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf> (Consultado a: 2016-09-03).

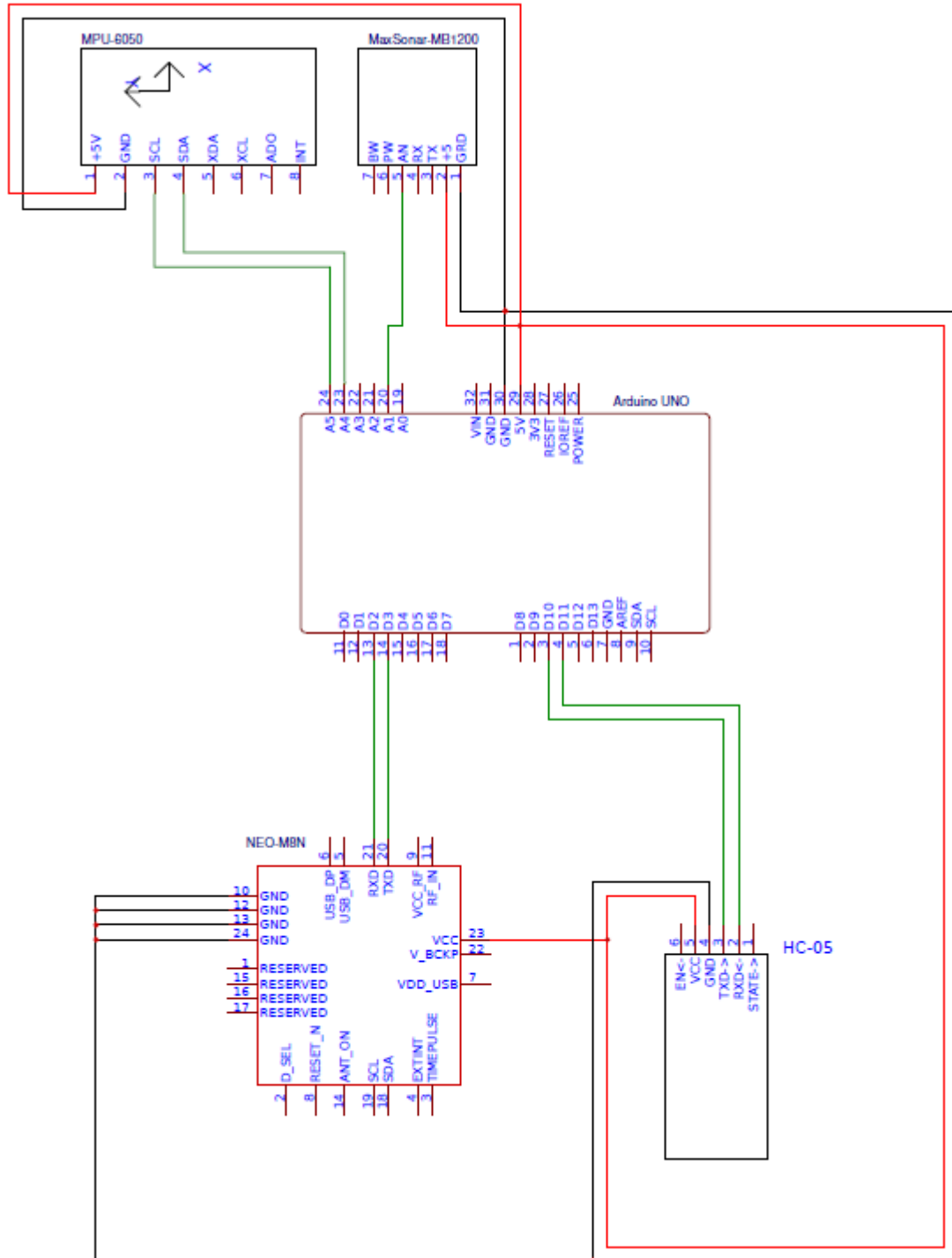
- 
- [40] MaxBotix, “MB1200 XL-MaxSonar-EZ0.” Disponível em: [http://www.maxbotix.com/Ultrasonic{\\_\\_}Sensors/MB1200.htm](http://www.maxbotix.com/Ultrasonic{__}Sensors/MB1200.htm) (Consultado a: 2016-09-25).
- [41] Rollei, “Rollei.” Disponível em: <http://www.rollei.com/products/film-and-video/actioncams/rollei-actioncam-425,p313050> (Consultado a: 2016-10-02).
- [42] “Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 1st quarter 2016.” Disponível em: <http://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/> (Consultado a: 2016-09-08).
- [43] Android, “Android Developers.” Disponível em: <https://developer.android.com/index.html> (Consultado a: 2016-10-16).
- [44] Órbita, “Órbita.” Disponível em: <http://www.orbitabikes.com/> (Consultado a: 2016-07-19).
- [45] “WindGURU:Arquivos diários.” Disponível em: <http://www.windguru.cz/pt/historie.php> (Consultado a: 2016-11-03).
- [46] “Decreto Lei n.º 72/2013 de 3 de Setembro,” 2013.
- [47] “Google Maps.” Disponível em: <https://www.google.pt/maps/> (Consultado a: 2016-08-10).
- [48] “8 actividades para visitar Aveiro.” Disponível em: <http://www.funceramics.pt/8-actividades-para-visitar-aveiro/> (Consultado a: 2016-08-12).
- [49] “MUDANÇAS NA EQUIPA REITORAL DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO.” Disponível em: <http://www.iera.pt/noticias/mudancas-na-equipa-reitoral-da-universidade-de-aveiro/> (Consultado a: 2016-08-12).
- [50] “ISCAA.” Disponível em: <http://sweet.ua.pt/isca5780/ISCAA.htm> (Consultado a: 2016-08-13).
- [51] “Yves Rocher no Glicínias Plaza Aveiro.” Disponível em: <http://allevvents.in/events/yves-rocher-no-glicinias-plaza-aveiro/919135204775732> (Consultado a: 2016-08-13).
- [52] B. Oliveira, “Análise do desempenho de um metro ligeiro na região de Aveiro,” Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2014.
- [53] B. Szlachetko e M. Lower, “A surrounding world knowledge acquiring by using a low-cost ultrasound sensors,” *Procedia Computer Science*, vol. 35, pp. 93–100, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2014.08.088>
- [54] A. Nshimiyimana, D. Agrawal, K. G. Panda, e A. Hossain, “Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimeter range,” *Perspectives in Science*, vol. 8, n.º10519, pp. 574–576, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221302091630163X>
-

- 
- [55] S. N. Yoannan, V. T. Vaipicherry, D. K. Thankachan, P. Ram, e P. Tripathy, “Security System Based on Ultrasonic Sensor Technology,” *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 7, nº 6, pp. 27–30, 2013. Disponível em: <http://iosrjournals.org/iosr-jece/papers/Vol7-Issue6/F0762730.pdf>
- [56] Garmin, “What is GPS?” Disponível em: <http://www8.garmin.com/aboutGPS/> (Consultado a: 2016-10-17).
- [57] P. D. Stud, T. St, L. Eng, E. Cristian, P. Eng, e V. Dolga, “Effects of the environment temperature on the characteristic of parallax ping ))) ultrasonic sensor,” pp. 39–44, 2014.
- [58] NDT Resource Center, “Attenuation of Sound Waves.” Disponível em: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/attenuation.htm> (Consultado a: 2016-11-09).
- [59] Instituto Newton C. Braga, “Sensores ultrassônicos.” Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/3484-mec081> (Consultado a: 2016-11-09).



## Apêndice A

### Esquema elétrico





# Mapa da Cidade-Percursos

